

# Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten

Schlußbericht

vorgelegt von

Karl Kordina  
Manfred Teutsch  
Erhard Wegener

**BIBLIOTHEK**  
Institut für Baustoffe, Mineralwolle und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Postfach 302  
D-38106 Braunschweig

1995

Gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Kennziffer Ko 204/37

## V o r w o r t

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft bewilligte 1989 dankenswerterweise eine Sachbeihilfe zur Durchführung von Untersuchungen über das Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenecken und Rahmenknoten (Az: Ko 204/37-1 und -2). Mit diesen Forschungsarbeiten sollte geprüft werden, unter welchen Voraussetzungen ein Traglastverfahren auch für rahmenartige Tragwerke angewendet werden kann. Wesentliche Ziele dieser Studien galten somit den Grenzen der plastischen Verformbarkeit in Rahmenecken und -knoten. Außerdem sollte überprüft werden, ob im Vergleich zu älteren Versuchen die nunmehr allgemein übliche Anwendung von Betonstählen der Güte 500/550 geänderte Anwendungsbedingungen bei der Bewehrungsführung in Rahmenecken erforderlich macht. Schließlich sollte auch das Verhalten im Gebrauchszustand dieser Konstruktionselemente untersucht werden, um die Entwicklung der Rißbreiten, der Rißabstände sowie der Winkeltreue der Rahmenecken und -knoten zu erfassen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft gebührt besonderer Dank dafür, daß diese umfangreichen und zeitaufwendigen Untersuchungen trotz überlanger Bearbeitungsdauer abgeschlossen werden konnten.

Der vorliegende Schlußbericht beruht zu wesentlichen Teilen auf einem umfangreichen Zwischenbericht von Dr.-Ing. M. T e u t s c h mit Ergebnissen einer Literatursichtung, Sammlung und Auswertung aller erreichbaren Versuchswerte sowie einer systematischen analytischen Parameterstudie.

Die Betreuung und Auswertung der in diesem Forschungsvorhaben durchgeführten neuen Bauteilversuche lag in den Händen von Dipl.-Ing. E. W e g e n e r.

Den Mitarbeitern des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig gebührt unser Dank für ihre zuverlässige und fachgerechte Unterstützung.

Die Verfasser

Braunschweig, im März 1995

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	0
Inhaltsverzeichnis	I
Literatur	III
Bezeichnungen und Bewertungsschema der durchgeführten experimentellen Untersuchungen	VII
<b>Teil 1: Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten (Auszug aus Zwischenbericht)</b>	<b>1.1</b>
1     Rechnerisch-Theoretische Untersuchungen	1.2
1.1   Problemstellung	1.2
1.2   Rahmenecken mit positivem Moment	1.5
1.3   Rahmenecken mit negativem Moment	1.11
1.4   Rahmenknoten	1.16
1.4.1 Ebene Rahmenendknoten	1.16
1.4.2 Räumliche Rahmenendknoten	1.25
1.4.3 Ebene Rahmeninnenknoten	1.25
1.4.4 Räumliche Rahmeninnenknoten	1.27
1.5   Analyse des Verformungsverhaltens	1.33
1.5.1 Allgemeines	1.33
1.5.2 Verformungsverhalten von Rahmenecken mit negativem Moment	1.34
1.5.3 Verformungsverhalten von Rahmenecken mit positivem Moment	1.40
1.5.4 Rahmenendknoten	1.41
1.6   Zusammenfassung	1.43
<b>Teil 2: Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten (Ergänzungsversuche)</b>	<b>2.1</b>
2.1   Untersuchungsziele des Ergänzungsvorhabens	2.1
2.2   Arbeitsprogramm	2.2
2.3   Abmessungen und Belastungsanordnung	2.3
2.4   Laststufen und Messungen	2.6
2.5   Baustoffe und Herstellung der Versuchskörper	2.9
2.6   Maßgebende Schnittgrößen	2.12

	Seite
2.7 Versuchsergebnisse	2.15
2.7.1 Versuchskörper VR I, VR II	2.19
2.7.2 Versuchskörper VR III	2.45
2.7.3 Versuchskörper VR IV und VR V	2.60
2.7.4 Versuchskörper VR VI	2.90
 2.8 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	 2.106
2.8.1 Tragverhalten	2.106
2.8.2 Bewehrungsführung in Rahmenecken und Endknoten	2.110
2.8.3 Bewehrungsführung in Rahmenecken in Sonderfällen	2.118
2.8.4 Ebene Rahmeninnenknoten	2.122
2.8.5 Anwendbarkeit des Traglastverfahrens	2.132
2.8.6 Vergleich der gemessenen Momentenverteilung mit den Ergebnissen der Elastizitätstheorie; Bemessungshinweise	2.142
2.8.7 Winkeländerungen	2.145
2.8.8 Rißbreiten	2.148
2.8.9 Durchbiegungen	2.151
 2.9 Offene Fragen	 2.154

## ANHANG

- Bewehrungspläne zu den Versuchen VR I bis VR VI
- Graphische Darstellungen der gemessenen Stahl- und Betonverformungen in unmittelbarer Nähe der Riegelanschnitte
- Auswertung aller bis 1989 erreichbaren Rahmeneck- und Knotenversuche in normierter Form



## Literatur

- [1] Nilsson, I.H.E.: "Reinforced concrete corners and joints subjected to bending moment". Nat. Swed. Build. Res. Document D7, 1973
- [2] Kordina, K.: "Bewehrungsführung in Ecken und Rahmenendknoten". DAfStb, Heft 354, Ernst & Sohn, Berlin 1984
- [3] Bargstädt, H.-J.: "Berechnung dicker Stahlbetonrahmen mit beanspruchungsabhängigen Ansätzen der Steifigkeiten". Dissertation, TU Braunschweig, 1988  
 Bargstädt, H.-J., Duddeck, H.: "Beanspruchungsabhängige Steifigkeiten dicker Stahlbetonrahmen". Bautechnik 66 (1989), Heft 10, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
- [4] Bathe, K.J.; ADINA: "A Finite Element Program for Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis". Massachusetts Institute of Technology, Report Nr. 824481, Massachusetts, 1976 und  
 Bathe, K.J.; Ramaswamy, S.: "On Three-Dimensional Nonlinear Analysis of Concrete Structures Nuclear Engineering and Design 52", S. 305 - 409, 1979
- [5] Teutsch, M.; Kordina, K.: "Analyse des Spannungs- und Verformungszustandes in Rahmenknoten des Massivbaus". Forschungs-Zwischenbericht für die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Braunschweig 1989
- [6] Stroband, J.; Kolpa, J.J.: "The Behaviour of Reinforced Concrete Column-Beam Joints". Part 2: Corner Joints subjected to Positive Moments. Report 6-81-5, Department of Civil Engineering, Delft, University of Technology, April 1981
- [7] Stroband, J.; Kolpa, J.J.: "The Behaviour of Reinforced Concrete Column-to-Beam Joints". Part I:; Corner Joints Subjected to Negative Moments. Report 5-83-9, Department of Civil Engineering, Delft, University of Technology, April 1983
- [8] Twelmeier, H.; Bauch, S.: "Versuche zum Grenzverformungsvermögen von Stahlbetonrahmen". Bauingenieur 1980, 409 - 417

- [9] Kayser, H.E.: "Beitrag zur Spannungsermittlung in Rahmenecken mit Rechteckquerschnitt". Dissertation TH Darmstadt 1938
- [10] Langer, P.: "Verdrehfähigkeit plastischer Tragwerksbereiche im Stahlbetonbau". Dissertation TU Stuttgart 1987
- [11] Quast, U.: "Rechenansätze in Form einer Spannungsdehnungsbeziehung für das Mitwirken des Betons in der gerissenen Zugzone von Stahlbetonquerschnitten". Bericht Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig 2/1980
- [12] Bigaj, A.: "Einfluß des Maßstabs auf die Rotationsfähigkeit von plastischen Gelenken in Stahlbetonträgern". 29. Forschungskolloquium des DAfStb, Delft, März 1994
- [13] Kordina, K.; Schaaff, E.: "Empfehlungen für die Bewehrungsführung in Rahmenecken und -knoten". Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 373, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin 1986
- [14] Gheorgoussis, G.H.; Phipps, M.E.: "The Influence of Low-Strength Concrete Beams on the Axial Load Capacity of Concrete Columns". The Structural Engineer, S. 17 - 26, Juni 1981
- [15] Stroband, J.; Leguijt, M.: "Sterkte van Kruisverbindingen in gewapend Beton (The Behaviour of in situ Concrete X-Joints between Columns and Beams)". Report des Stevin Laboratoriums der University of Technology in Delft, S. 87 - 89, Oktober 1980  
 Stroband, J.; Leguijt, M.: "Uit de researchlaboratoria, Sterkte van kruisverbindingen in gewapend beton". Cement XXXI (1979) Nr. 8, S. 362 - 364
- [16] ACI-ASCE Committee 352: "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures". ACI Journal, S. 266 - 283, Mai/Juni 1985
- [17] Eurocode Nr. 2: "Design of Concrete Structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings". Final Draft, Dezember 1988

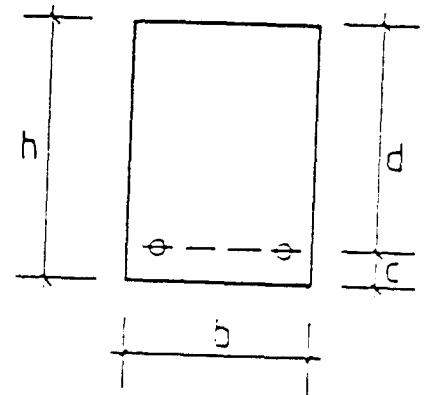
- [18] Ernst, G.E.: "Plastic Hinging at the Intersection of Beams and Columns". Journal of the ACI, S. 1119 - 1144, Juni 1957.
- [19] Hoekstra, A.S.: "De Invloed van de Wapenings Detaillering of het Gedrag van de Doorgande-Kolombalkverbinding". Civiele Techniek, TH Delft, Oktober 1977.
- [20] Eligehausen, R.; Fabritius, E.: "Erforderliches Dehnvermögen von Bewehrungsstäben bei Anwendung der Plastizitätstheorie". Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart.
- [21] Windisch, A.: "Zur Bemessung von Rahmenendknoten", Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11, 1994.
- [22] Ritter, H.; Evers, P.: "Klärwerk Duisburg-Kaßlerfeld". Beton-Informationen 3/93, Betonverlag Düsseldorf.
- [23] Bigaj, A.; Walraven, J.C.: "Size Effect on Rotational Capacity of Plastic Hinges in Reinforced Beams". CEB Bulletin No. 218, Lausanne.
- [24] Eligehausen, R.; Kreller, H.; Langer, P.: "Einfluß der Stahlkennlinie auf den möglichen Grad der Schnittkraftumlagerung bei Stahlbetontragwerken". IWB-Mitteilungen 1988/2, Universität Stuttgart.
- [25] Eibl, J.; Curbach, M.; Stempniewski, L.: "Mögliche plastische Rotation bei Platten im Hochbau". Universität Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Abteilung Massivbau, 1986.
- [26] Eibl, J.; Eligehausen, R.: "Schnittgrößenermittlung". Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 425.
- [27] Paulay, Th.: "Bewehrungsführung in Stahlbetonrahmen für starke Erdbebenbeanspruchung". Beton- und Stahlbetonbau 11/1986. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin, 1986  
 Paulay, Th.: "Equilibrium Criteria for Reinforced Concrete Beam-Column Joints". ACI Structural Journal, Title no. 86-S61, November/December 1989

- [28] Leon, R.T.: "Kolom-Balkverbindungen in gewapend betonconstructies". Civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving. Rapport 147. No. ISBN 90 376 0002 6
- [29] Kordina, K.: "Zum Tragsicherheitsnachweis gegenüber Schub, Torsion und Durchstanzen nach EC 2 Teil 1 - Erläuterungen zur Neuauflage von Heft 425 und Anwendungsrichtlinie zu EC 2". ~~Sonderdruck aus:~~ Beton- und Stahlbetonbau, Heft 4/1994, S. 97 - 100, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
- [30] Leon, R.T.: "Shear Strength and Hysteretic Behavior of Interior Beam Column Joints". ACI Structural Journal, Title no. 87-S1, Januar/Februar 1990.
- [31] Thürlimann, B.: "Plastizitätstheorie im Stahlbetonbau". Skriptum Institut für Massivbau der Universität Stuttgart, 1985.
- [32] Ford, J.S., et al.: "Behaviour of concrete columns under controlled lateral deformation. Part 1; Parts 2 - 4 "Experimental and analytical modelling of unbraced multipanel concrete frames. RCRC Project 31, Univ. of Texas, Austin.
- [33] Bosshard, M.; Menn, C.: Versuche über den Einfluß der Bewehrungsanordnung auf das Tragverhalten von Rahmenecken aus Stahlbeton. Versuchsbericht Nr. 7806-1 des Instituts für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich, Mai 1984.
- [34] Taylor, H.P.J.: The Behaviour of in situ Concrete Beam-Column Joints. Technical Report 42.492 of the Cement and Concrete Association, London, Mai 1974.

## Bezeichnungen und Auswertung der durchgeführten experimentellen Untersuchungen

Ein Vergleich der verschiedenen Versuchsergebnisse ist bedingt durch die unterschiedliche Größe und Form der Versuchskörper sowie die verschiedenen Belastungsarten, streuenden Betongüten und Fließgrenzen des Bewehrungsstahls sehr schwierig. Für eine vergleichende Versuchsauswertung erscheint es notwendig, die Traglasten wie auch die Einflußparameter in normierter Form darzustellen. Hierzu werden die nachfolgenden Bezeichnungen benutzt:

$A_S$	= Querschnittsfläche der Zugbewehrung
$A_S'$	= Querschnittsfläche der Druckbewehrung
$d$	= statische Höhe
$h$	= Bauhöhe
$M$	= Biegemoment
$m_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot \beta_p}$	= bezogenes Bruchmoment
$N$	= Normalkraft
$Q$	= Querkraft
$\beta_{su}$	= Zugfestigkeit der Bewehrungsstäbe
$\beta_s, f_y$	= Streckgrenze der Zugbewehrung
$\beta_s', f_y'$	= Streckgrenze der Druckbewehrung
$\beta_p, f_c'$	= Prismenfestigkeit des Betons
$\gamma = A_S'/A_S$	= Verhältnis der Druck- zur Zugbewehrung
$\epsilon_s$	= Dehnung der Zugbewehrung
$\epsilon_s'$	= Stauchung der Druckbewehrung
$e$	= Ausmitte der Normalkraft
$e/h = M/(N \cdot h)$	= Bezogene Ausmitte der Normalkraft



$\rho_s, \mu_s = \frac{A_S}{b \cdot d}$	= geom. Bewehrungsgrad der Zugbewehrung bzw. $\rho_s', \mu_s'$ der Druckbewehrung
$\omega_s = \frac{\mu_s \cdot \beta_s}{\beta_p}$	= mechan. Bewehrungsgrad der Zugbewehrung bzw. $\omega_s' = \mu_s' \cdot \beta_s'/\beta_p$ der Druckbewehrung
$\sigma_N = \frac{N}{b \cdot h}$	= Betonspannung infolge Normalkraftbeanspruchung
$\eta, \eta$	= Wirkungsgrad $M_{U, Test}/M_{U, Rechng.}$

Um die Effizienz der Bewehrungsführung in den nachfolgend behandelten Rahmenknoten zu ermitteln, ist ein Vergleich der experimentellen Tragfähigkeit mit der theoretischen Biegetragfähigkeit notwendig. Die theoretische Biegetragfähigkeit eines Rechteckquerschnitts ohne Druckbewehrung und ohne Normalkraftbelastung ergibt sich bekanntlich durch Gleichgewichtsbetrachtung am Querschnitt und unter Zugrundelegung linearer Dehnungsverteilung zu

$$M_{u,s} = A_s \cdot \beta_s \cdot z \quad \text{wenn die Zugbewehrung den Fließzustand erreicht}$$

$$M_{u,c} = b \cdot x \cdot \alpha_R \cdot \beta_p \cdot z \quad \text{wenn die Betondruckzone für das Versagen maßgebend ist}$$

$$x = \text{Druckzonenhöhe} = k_x \cdot d$$

$$z = \text{innerer Hebelarm der Kräfte} = k_z \cdot d$$

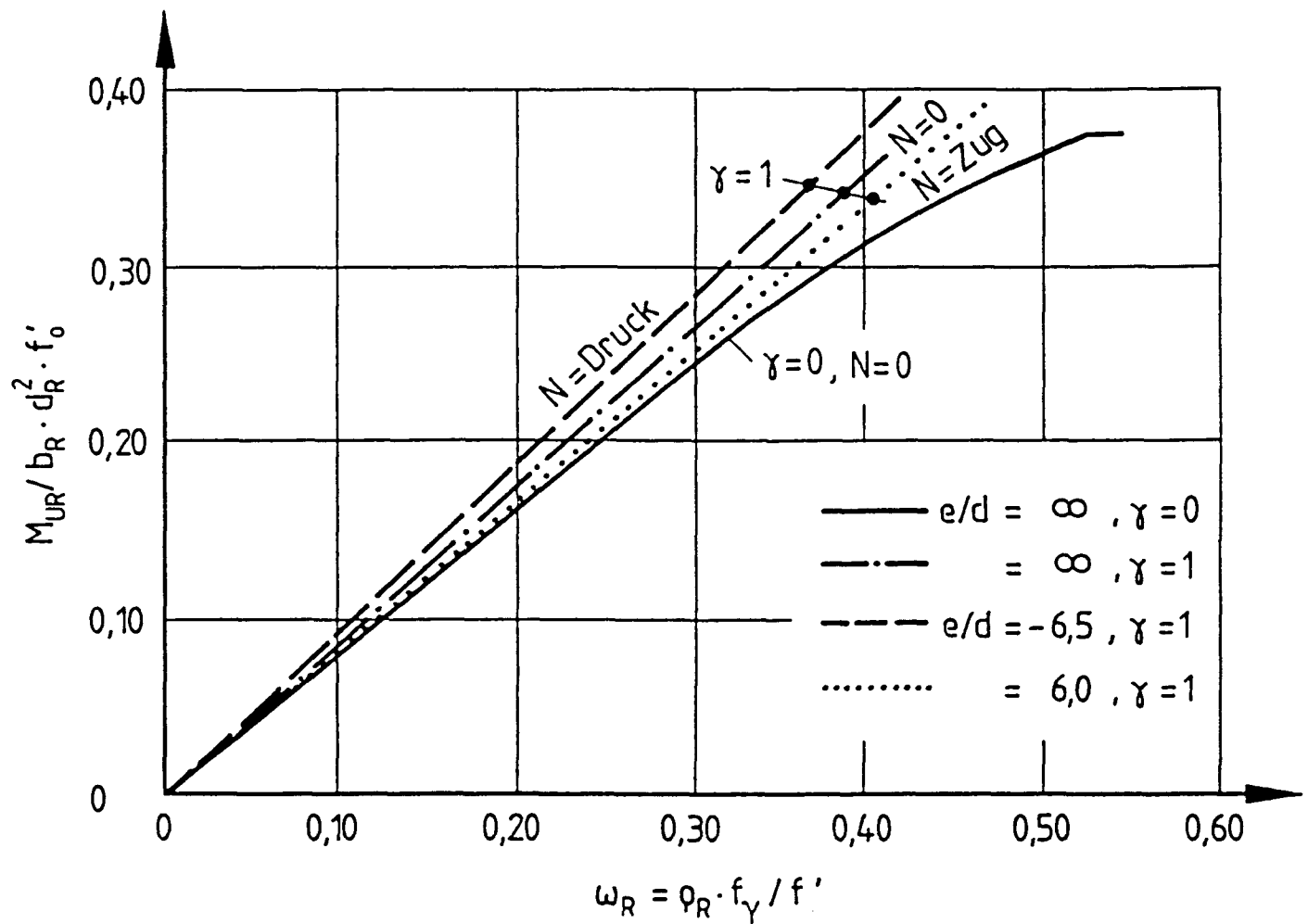
$$\alpha_R = \text{Völligkeitsbeiwert}$$

bzw. in normierter Form

$$m_{u,s} = \omega_s \cdot k_z$$

$$m_{u,c} = \alpha_R \cdot k_x \cdot k_z$$

In Bild 0.1 sind die theoretischen Tragfähigkeiten in Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad aufgetragen. Variiert wurden dabei die Scharparameter  $\gamma = A_s'/A_s$  und  $\eta = e/d$  im praxisüblichen Bereich. Daraus wird die bekannte Tatsache deutlich, daß durch Einlegen einer Druckbewehrung und durch Hinzutreten einer Druckkraft die Biegetragfähigkeit gesteigert wird. Für den nachfolgenden Vergleich mit den experimentell ermittelten Tragfähigkeiten wird die Kurve mit  $e/d = \infty$  und  $\gamma = 0$  als Bezugskurve ausgewählt, da sie einfach zu ermitteln ist und den unteren theoretischen Traglastbereich abdeckt.



**Bild 0.1:** Abhängigkeit der rechnerischen Bruchmomente von der Ausmitte der Längskraft und den Bewehrungsverhältnissen

$e/d = \infty$  reine Biegung,  $N = 0$   
 $\gamma = 0$  einseitige Biegebewehrung  
 $\gamma = 1$  symmetrische Biegebewehrung

**Trag- und Verformungsverhalten  
von Rahmenknoten**

**1. Teil**

**Zusammenfassung älterer Arbeiten**

**Ergänzungsuntersuchungen  
gefördert durch die  
Deutsche Forschungsgemeinschaft  
(Ko 204/37)**



## Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten

### 1. Teil

Teil 1 des vorliegenden Schlußberichtes stellt eine gekürzte Fassung eines umfangreichen Zwischenberichtes dar, der von Dr.-Ing. M. T e u t s c h verfaßt worden ist und unter Bezug auf ältere experimentelle und theoretische Untersuchungen eine Analyse der bis 1989 veröffentlichten Erkenntnisse darstellt [5]. Eine systematische Parameteruntersuchung ergab, daß bei den meisten dieser älteren Versuche die Verformungsfähigkeit und das Verhalten im gerissenen Zustand nicht hinreichend genau erfaßt worden war. Darüber hinaus war nur ein geringer Teil der Versuchskörper mit Stahl BSt 500/550 bewehrt, der gegenüber dem früher allgemein gebräuchlichen BSt 420/500 möglicherweise zu einer geringeren plastischen Verformungsfähigkeit führt. Auch das Verhalten von Rahmenecken und -knoten im Gebrauchszustand wurde nur in wenigen Einzelfällen genauer untersucht.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Grenzen der Rotationsfähigkeit bei Stabtragwerken im Bereich von Rahmenknoten unter Berücksichtigung baupraktischer Gegebenheiten abzuklären, um so die Anwendbarkeit des Traglastverfahrens zu prüfen. Die Auswirkungen ruhender Dauerlasten und von ermüdenden Beanspruchungen sollten im Rahmen dieses Vorhabens nur exemplarisch studiert werden.

Alle bis 1989 durchgeführten experimentellen Untersuchungen an Rahmenecken und -knoten wurden erfaßt und ausgewertet (Anhang). Die Versuchsergebnisse wurden mit einem entsprechend erweiterten FEM-Programm ADINA nachgerechnet. Hierdurch war es möglich, die Spannungs- und Dehnungsverhältnisse in Rahmenknoten und -ecken im gerissenen und plastifizierten Zustand unter Berücksichtigung des Schlupfes nachzurechnen.

Einzelheiten der erzielten Ergebnisse sind in der ungekürzten Fassung des Zwischenberichts [5] enthalten.

## 1. Rechnerisch-Theoretische Untersuchungen

### 1.1 Problemstellung

Im Gegensatz zu statisch bestimmt gelagerten Stabtragwerken, bei denen die Tragfähigkeit verlorenggeht, sobald in einem Querschnitt des Systems die aufnehmbare Schnittkraft erreicht wird, ist bei innerlich und äußerlich unbestimmten Konstruktionen die Tragfähigkeit des Systems größer als die eines einzelnen Querschnitts. Dies ist dadurch zu erklären, daß bei Erreichen der Querschnittstragfähigkeiten eine Umlagerung der Schnittgrößen auf noch nicht ausgenutzte Nachbarbereiche erfolgen kann. Statisch unbestimmte Tragwerke besitzen demnach Tragreserven, die erst dadurch aktiviert werden, daß an einer oder mehreren Stellen plastische oder zumindest örtlich große Verformungen (plastische Gelenke) entstehen.

Bei Massivbaukonstruktionen ist aufgrund des spröden Verhaltens des Betons eine plastische Verformbarkeit nicht grundsätzlich vorauszusetzen. So muß beispielsweise bei der Mehrzahl der vorliegenden Versuche an stabförmigen Stahlbetonbauteilen eine Übertragbarkeit auf baupraktische Gegebenheiten bezweifelt werden: Es ist z.B. ungeklärt, ob Versuche mit monotoner Steigerung der Belastung bis zum Versagen auf den verhältnismäßig langen Gebrauchsdauerzustand von Bauteilen unter nicht ruhender oder langsam wechselnder Belastung übertragen werden können. Die zusätzliche Einwirkung hoher Querkkräfte bei gleichzeitig hoher Biegebeanspruchung erscheint nicht hinreichend abgeklärt. Die Einflüsse von Bewehrungsführung und Kraftumlenkung auf die Rotationsfähigkeit sind weitgehend ungeklärt, insbesondere in den Ecken rahmenartiger Tragwerke.

Vor allem in Rahmenecken und Rahmenknoten ist der Spannungsverlauf im Zustand I nicht linear, sondern hyperbolisch gekrümmt mit entsprechenden Spannungsspitzen (Eck- oder Kerbspannungen). Wesentlich ist, daß die Umlenkung der inneren Kräfte radial gerichtete Spannungen erzeugt, welche zu vorzeitiger Rißbildung und damit zu vorzeitigem Festigkeits- und Steifigkeitsabfall führen können. Im gerissenen Zustand wird der Knotenbereich, bedingt durch die notwendige Umlenkung der inneren Kräfte und im Hinblick auf die begrenzte Verbundfestigkeit der eingebetteten Bewehrungsstäbe stark beansprucht, wodurch weitere Zusatzbeanspruchungen und -verformungen entstehen können. Dies kann zu einer erheblichen Abminderung der Rotationsfähigkeit und zu einem vorzeitigen Versagen des Knotenbereichs führen.

Eine übertriebene Ausnutzung der Traglasttheorie kann zu verstärkter Rißbildung im Gebrauchszustand führen, durch welche die Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Gesamttragwerks eingeschränkt wird.

Seit etwa 1960 werden umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Rotationsfähigkeit von Stahlbetonquerschnitten durchgeführt. Nach CEB wird angenommen, daß die Verformbarkeit ausschließlich vom Verhältnis der Druckzonenhöhe zur Bauhöhe  $= x/d$  abhängt. Es ist bekannt, daß diese Voraussetzung nicht zutrifft, sondern als weitere maßgebende Parameter die Duktilität der Bewehrungsstäbe und eine untere Bewehrungsgrenze zu berücksichtigen sind.

Die Ergebnisse der an stabförmigen Bauteilen durchgeführten Versuche können nicht ohne weiteres auf Rahmenecken und -knoten übertragen werden. Die Gründe hierfür sind in den besonderen, von der üblichen Biegelehre abweichenden Spannungszuständen in diesen begrenzten Bereichen zu suchen. Die wichtigsten Ursachen für die angesprochenen Zusatzbeanspruchungen sind:

- Die Umlenkung der Druckresultierenden der aus Riegel und Stützen eingeleiteten Schnittgrößen rufen Zugbeanspruchungen hervor, die zu Rißbildungen führen, wodurch auch die Druckfestigkeit des Betons abgemindert wird.
- Die in Rahmenecken mit üblichen Abmessungen vorhandenen Verbundlängen der Stützenbewehrung reichen in Einzelfällen nicht aus, um die aus Spannungsänderungen resultierenden Kräfte vollständig in die Bewehrungen eintragen zu können. Dies verursacht Schlupf der Bewehrung und führt häufig zu vermehrten Rißbildungen. Insbesondere die in der Druckzone der Stützenanschnitte zur Verfügung stehenden Bewehrungsquerschnitte können u.U. ausfallen.
- Die Abmessungen üblicher Rahmenknoten und -ecken erfordern Abbiegungen der Bewehrungsstäbe mit kleinstem zulässigen Biegeradius. Hierdurch kommt es zu einem starken Anpreßdruck der Bewehrung auf den Beton, der zu nachteiligen Spaltwirkungen führt. Es entstehen vergleichsweise frühzeitig Risse, die unter Ermüdungsbeanspruchung oder ruhender Dauerlast an Rißbreite zunehmen.

Diese Umstände führen insgesamt dazu, daß die Tragfähigkeit eines Rahmenknotens oder einer -ecke in der Regel geringer ist als die rechnerische Tragfähigkeit der Stützen- und Riegelanschnitte. Die Größe der verringerten Tragfähigkeit in bezug auf diejenige der Anschnitte wird üblicherweise als Wirkungsgrad angegeben. In grundlegenden Untersuchungen [1,2] wurde versucht, Bewehrungsführungen zu entwickeln, bei welchen der Wirkungsgrad gegen 1,0 geht.

Die größeren Verformungen im Knoten können bei statisch unbestimmten Konstruktionen zur Entlastung des Knotens führen; inwieweit die verringerte Tragfähigkeit des Knotens infolge der denkbaren Schnittgrößenumlagerung im statisch unbestimmten Rahmentragwerk aufgefangen werden können und welche Maßnahmen hierbei zu beachten sind, kann aus den bisher vorliegenden Untersuchungen noch nicht befriedigend abgeleitet werden, zumal sich Maßstabeinflüsse abzeichnen [3]. Unsicherheiten in der Bewertung dieser Erscheinungen treten auch dadurch auf, daß gegenüber allen älteren Versuchen nunmehr Bewehrungsstäbe der Güte BSt 500/550 Verwendung finden. Zusätzlich sind Ermüdungsbeanspruchungen und ruhende Dauerlasten systematisch zu untersuchen, was bisher weitgehend unterblieb.

Das Hauptgewicht aller bisher durchgeführten experimentellen Untersuchungen galt der Abhängigkeit der Traglast von der Bewehrungsführung. Eine systematische Auswertung dieser Versuche und eine rechnerisch-theoretische Darstellung der Spannungs- und Verformungsverhältnisse im gerissenen Zustand fehlte bisher. Dies sollte zunächst nachgeholt werden. Hierzu wurden alle erreichbaren experimentellen Untersuchungen an Rahmenecken und -knoten erfaßt und ausgewertet; wesentliche Einflüsse auf das Trag- und Verformungsverhalten der Rahmenknoten sollten aufgezeigt werden. Anschließend wurden die derart erarbeiteten Abhängigkeiten durch Rechnungen mit dem FEM-Programm ADINA nachgerechnet und erweitert. Um den Einfluß von Relativverschiebungen zwischen Bewehrung und Beton durch Überschreitung der Verbundfestigkeit zu erfassen, wurde das vorhandene ADINA-Programm ergänzt [4]. Auf diesem Wege gelingt es, die Spannungs- und Dehnungsverhältnisse von Rahmenknoten und -ecken im gerissenen und plastifizierten Zustand nachzurechnen und die Güte der Ergebnisse durch Vergleich mit Versuchsergebnissen zu beurteilen. Hieraus sollten Anregungen für anschließende experimentelle Untersuchungen abgeleitet werden.

## 1.2 Rahmenecken mit positivem Moment

Rahmenecken mit positivem Moment (Zugzone innen) finden ihren Anwendungsbe-  
reich z.B. im Anschluß einer Winkelstützmauer zu ihrem Fundament, im An-  
schluß einer Balkonbrüstung zur Deckenplatte, im Eckbereich eines Schwimm-  
beckens, eines Zellensilos oder bei Brückenwiderlagern. Es werden sowohl  
balkenartige als auch plattenartige Stahlbetonbauteile in dieser Weise mit-  
einander verbunden.

In den nachfolgenden beiden Bildern ist die Spannungsverteilung in einer  
rechtwinkligen Rahmenecke unter positiver Momentenbeanspruchung im ungeris-  
senen Zustand wiedergegeben sowie die typische Rißentwicklung unter zuneh-  
mender Momentenbeanspruchung, hervorgerufen durch die hohen Kerbspannungen  
an der inneren Ecke.

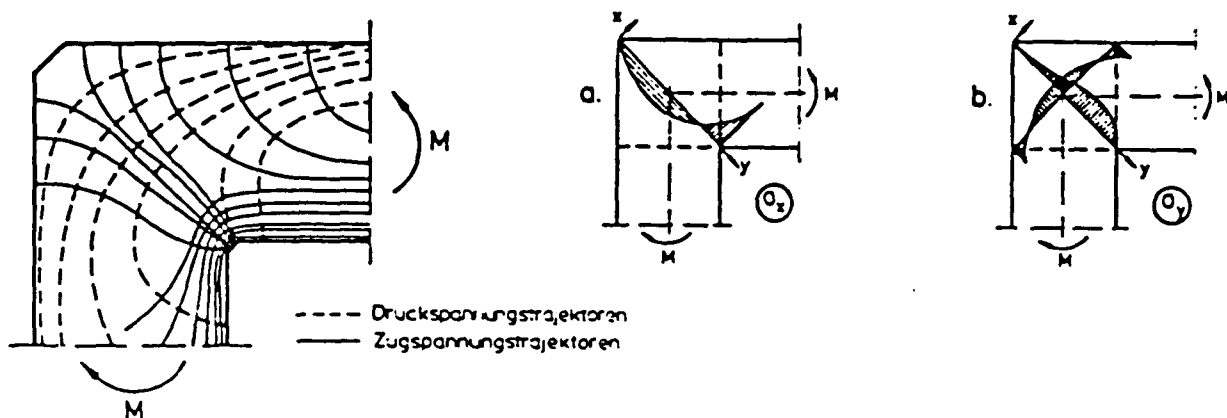


Bild 11: Spannungsverteilung und -verlauf in einer Rahmenecke mit positiver  
Momentenbeanspruchung im ungerissenen Zustand

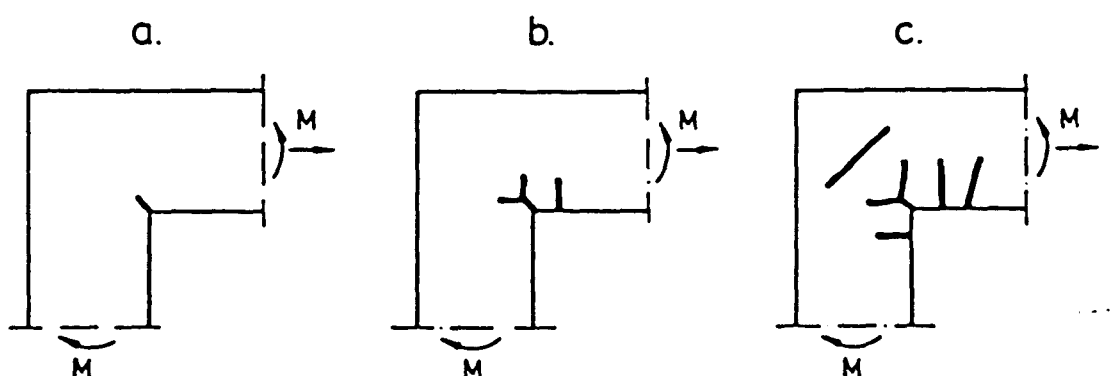


Bild 12: Typische Rißbildung einer Rahmenecke mit positiver Momentenbean-  
spruchung

Die in der Literatur vorgefundenen Versuche wurden überwiegend mit der Zielsetzung durchgeführt, eine optimale Bewehrungsform herauszufinden. Optimal heißt in diesem Falle, daß der sog. Wirkungsgrad des Knotens  $> 1,0$  ist und daß die Knotentragfähigkeit größer ist als die Tragfähigkeit der Anschnitte von Riegel bzw. Stütze. Bild13 zeigt das Ergebnis dieser Untersuchungen, die in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgrad  $\mu$  den Wirkungsgrad  $\eta$  verschiedener Bewehrungsführungen darstellt. Es liegt die Auswertung von über 170 Versuchen zugrunde [2]. Es zeigt sich, daß grundsätzlich eine Betongüte  $\geq B 25$  vorgehalten werden muß und nur bei kleinen Bewehrungsgehalten bis etwa 0,4 % auf eine Schrägbewehrung verzichten kann und nur die schlaufenartige Bewehrungsführung - wie auch in DIN 1045 angegeben - zu einem optimalen Wirkungsgrad führt. Bei Bauteilhöhen von mehr als 1,0 m empfiehlt DIN 1045 allerdings andere Bewehrungsführungen, so wie Bild14 zeigt.

Bedeutungsvoll für die Beurteilung des Verformungsverhaltens von Rahmenekken unter positiver Momentenbeanspruchung ist die Darstellung des Dehnungsverlaufes der Hauptzugbewehrung im Rahmenknotenbereich. Hierzu werden Ergebnisse aus Heft 384 [2] des DAfStb herangezogen. Es wird ersichtlich, daß bei schlaufenartig gekrümmter Bewehrung schon im Anfang des Krümmungsbereiches der größte Teil der Stahlspannungen durch Verbund abgebaut wird (Bild15).

Die gemessenen Verformungsvorgänge im Eckbereich lassen Schlußfolgerungen auf die sog. Winkeltreue von Rahmenecke unter positivem Moment zu: Im allgemeinen lag die Winkeländerung unter Gebrauchslast bei etwa  $0,2^\circ$ . Bild16 zeigt den großen Einfluß der Betongüte auf die Winkeländerung (Formtreue) des Knotens. Wurde eine Schrägbewehrung mit Querschnitt von etwa 50 % der Hauptbewehrung eingelegt, betrugen die Rißbreiten unter Gebrauchslast nur etwa 0,1 bis 0,3 mm, was noch als zulässig für Stahlbetonkonstruktionen angesehen werden kann (Bild17). Dem Baufortschritt entsprechend wird oft versucht, in Höhe der Riegeloberkante eine Arbeitsfuge anzuordnen, was jedoch vor allem durch die Schrägbewehrung sehr erschwert wird. Als Ausweg wird daher gelegentlich die Arbeitsfuge z.B. bei Winkelstützwänden oberhalb des Endes der Schrägstäbe im Bereich der Wand angeordnet.

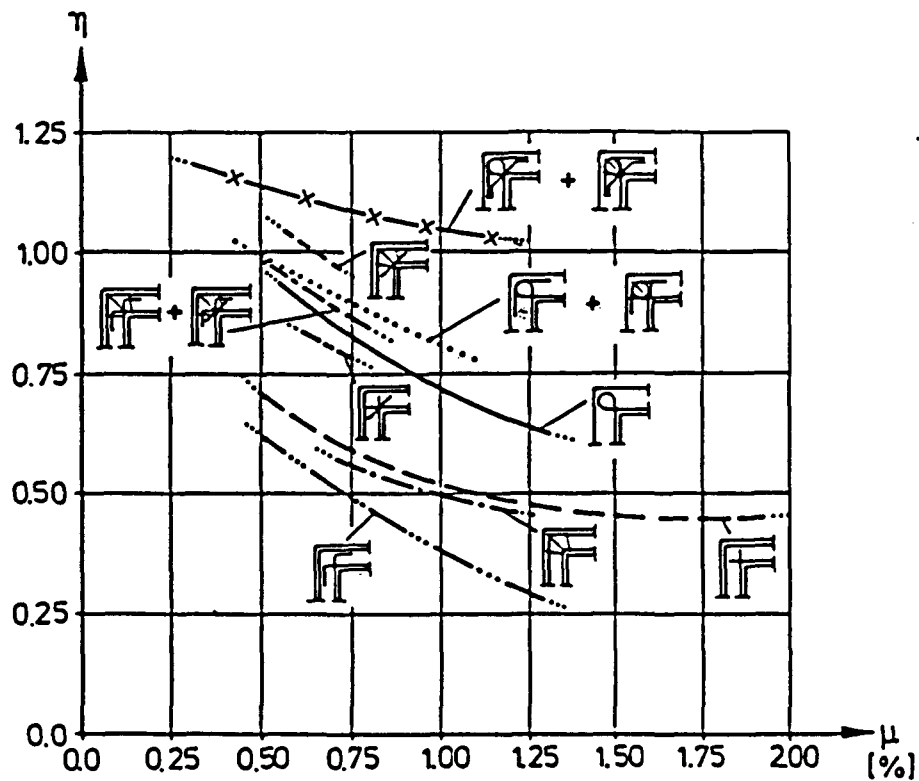


Bild 1.3: Ecken mit positivem Moment; Wirkungsgrad verschiedener Bewehrungsführungen ( $\mu$  - geometrischer Bewehrungsgrad  $\% = A_s/b \cdot d$ )

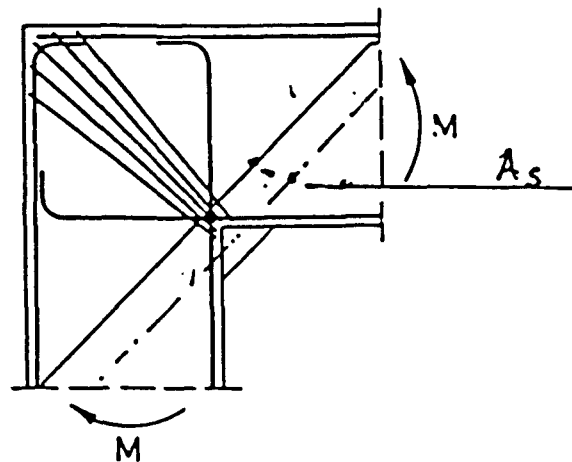


Bild 1.4: Rahmenecke mit Bauhöhe  $d > 1,00$  m, ev. mit Voute

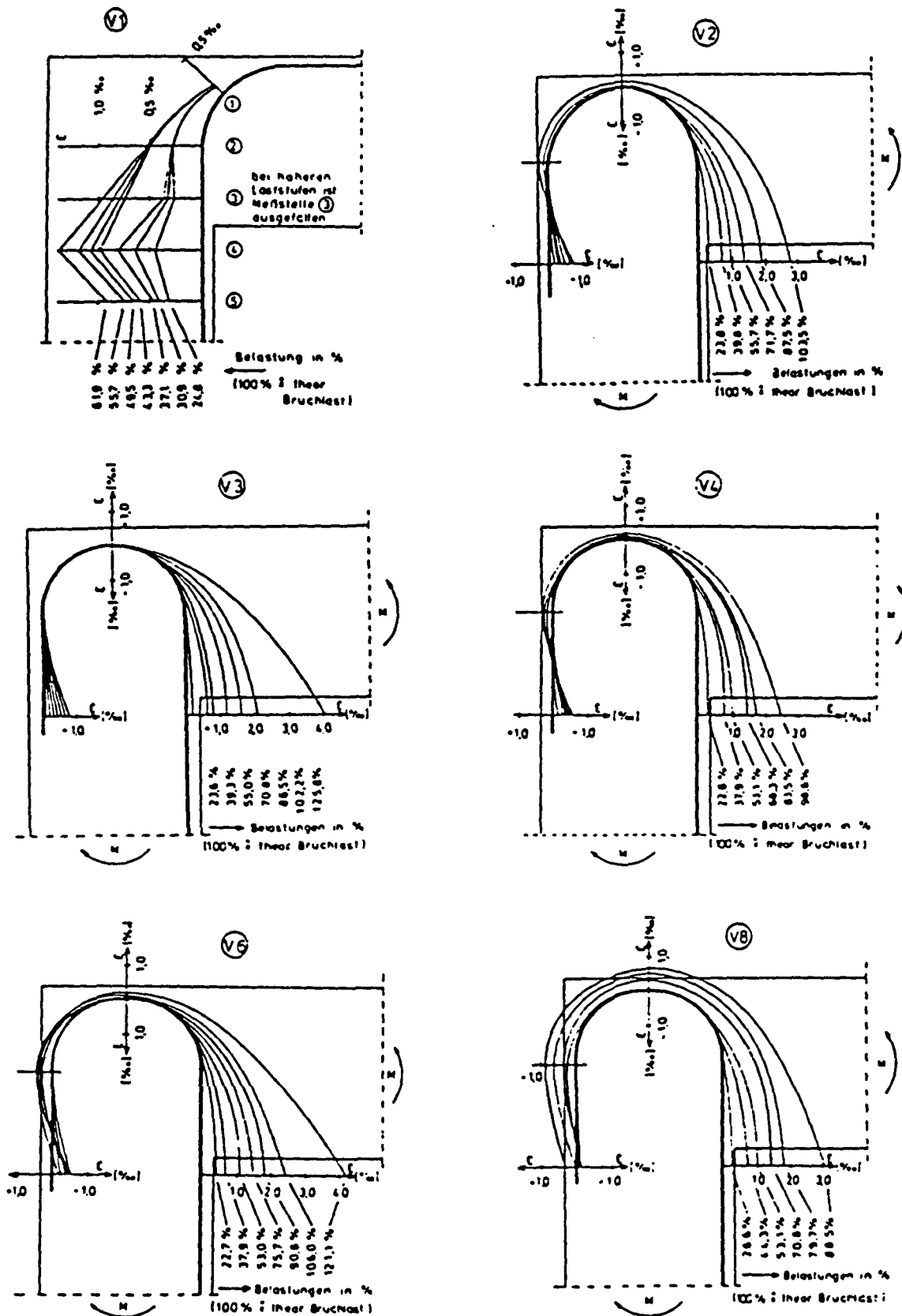


Bild15: Verlauf der Dehnungen in der Hauptbewehrung bei Versuchen mit positive Momentenbelastung



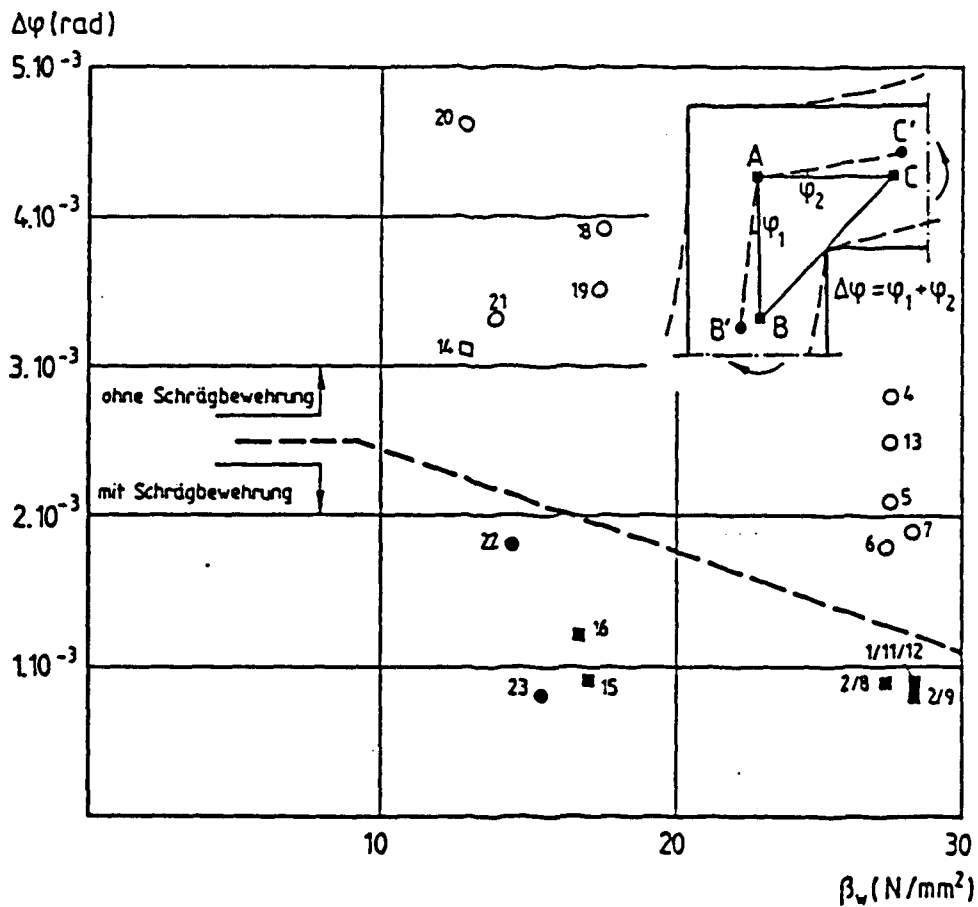


Bild 16a: Winkeländerungen der Versuchskörper von Stroband/Kolpa unter Gebrauchslast - positives Moment [6]

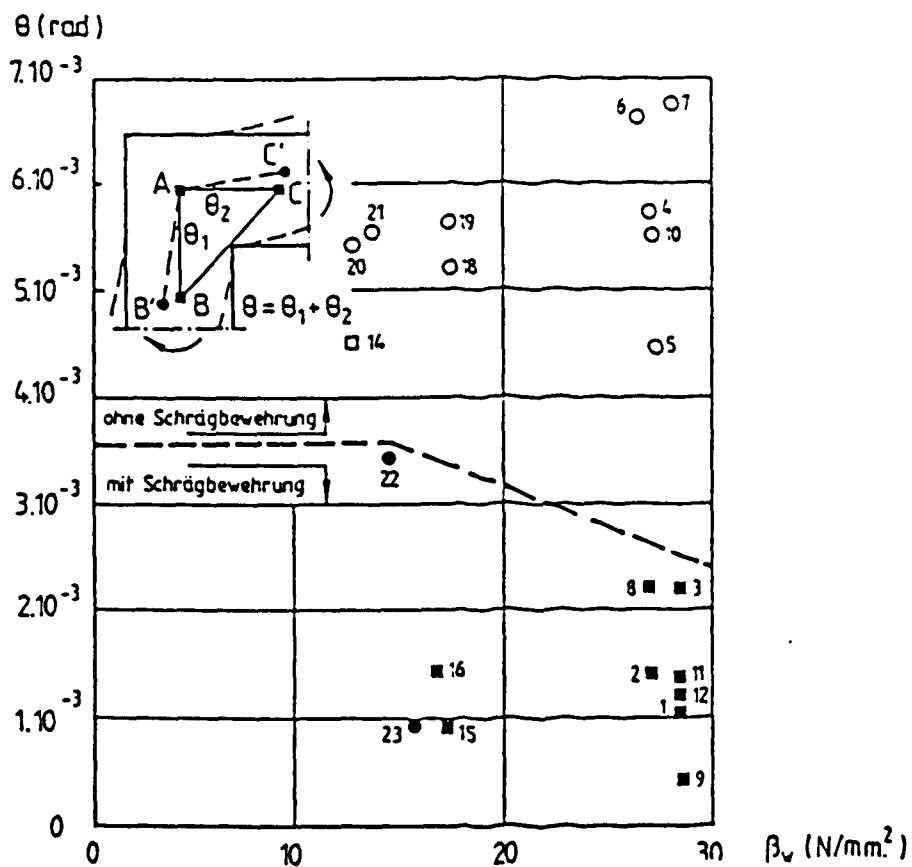


Bild 16b: Winkeländerung der Versuchskörper von Stroband/Kolpa im Bruchzustand - positives Moment [6]

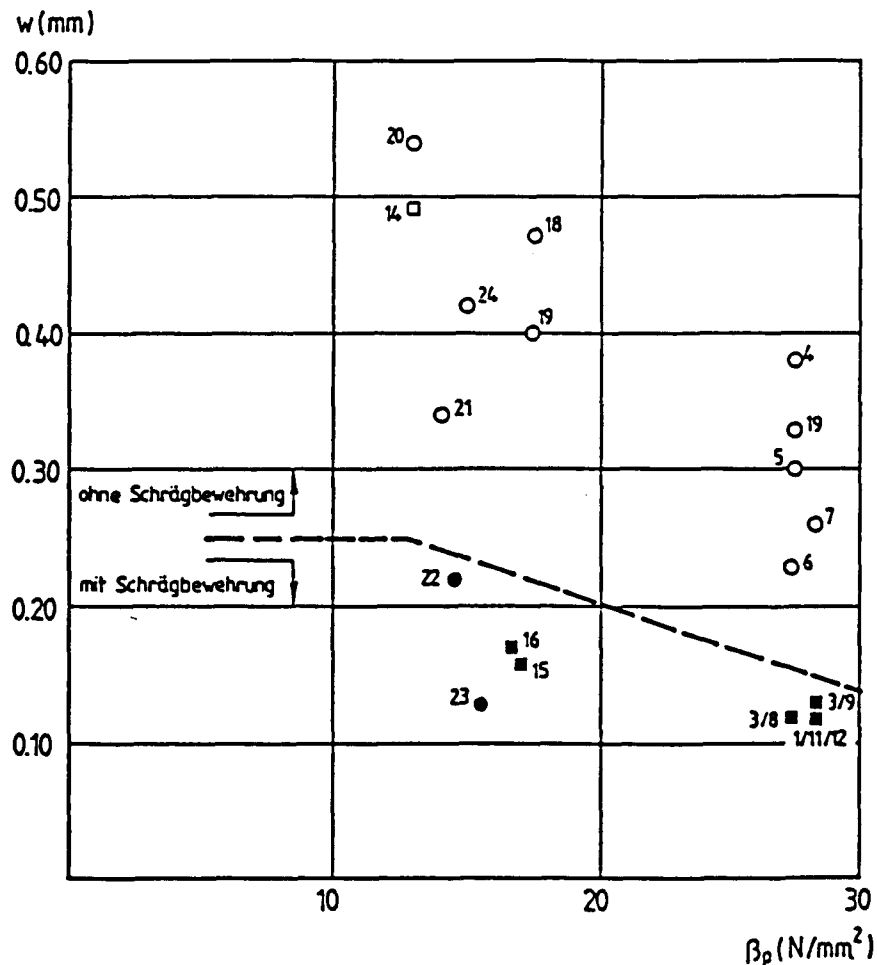


Bild 1.7: Rißweiten der Versuche von Stroband/Kolpa unter Gebrauchslast - positives Moment [6]

Die Untersuchungen an Winkelstützwänden und an stumpfwinkligen Rahmenecken (z.B. in Treppenläufen) ergaben keine von den bisherigen Feststellungen abweichenden Ergebnisse. Die schlaufenförmige Bewehrungsführung zeigt eindeutige Vorteile, insbesondere dann, wenn zusätzliche Schrägstäbe angeordnet werden, was vor allem zur Begrenzung der Rißbreite von ausschlaggebender Bedeutung ist [2].

### 1.3 Rahmenecken mit negativem Moment

Rahmenecken mit negativem Moment sind in der Baupraxis vergleichsweise häufig anzutreffen. Hierbei ist eine konstruktive Eigenart insofern zu beachten, als dem Baufortschritt entsprechend in vielen Fällen nach Möglichkeiten gesucht wird, in Höhe der Riegelunterkante eine Arbeitsfuge anzuordnen. Die folgenden Bilder zeigen den Spannungszustand, wie er in etwa einem homogenen und isotropen Baustoff entspricht. Die Spannungsverteilung ist durch sehr hohe Betondruckspannungen an der inneren Rahmenecke gekennzeichnet. Der Übergang nach Zustand II führt in Verbindung mit der Bildung eines Diagonalrisses zu einer Einschnürung der Biegedruckzone, wie das nachfolgende Bild 8a,b zeigt. Bei hohen mechanischen Bewehrungsgraden wird eine Verminderung der Tragfähigkeit solcher Rahmenecken beobachtet, die allerdings durch die Anordnung von kreuzenden Steckbügeln vermieden werden kann.

Aus [7] können Untersuchungen über die Winkeltreue von Decken unter negativem Moment entnommen werden. Das folgende Bild 9 zeigt die Ergebnisse unter Gebrauchslastmoment. Der große Einfluß der Betongüte auf die Winkeländerung wird deutlich, weswegen auch in DIN 1045 eine Mindestbetongüte von B 25 gefordert wird.

Die Untersuchungen von Stroband und Kolpa [7] zeigen des weiteren, daß nur in Rahmenecken mit Zusatzbewehrung (kreuzende Steckbügel) eine nennenswerte Rotationsfähigkeit des Knotens erzielt werden kann. Nach Erreichen der Maximallast bildet sich ein plastisches Gelenk, das eine entsprechende Zunahme der Durchbiegungen im Rahmenriegel erlaubt. Auch diese Versuche machen deutlich, daß nur eine Betongüte von B 25 oder besser zu diesem günstigen Verformungsverhalten führt.

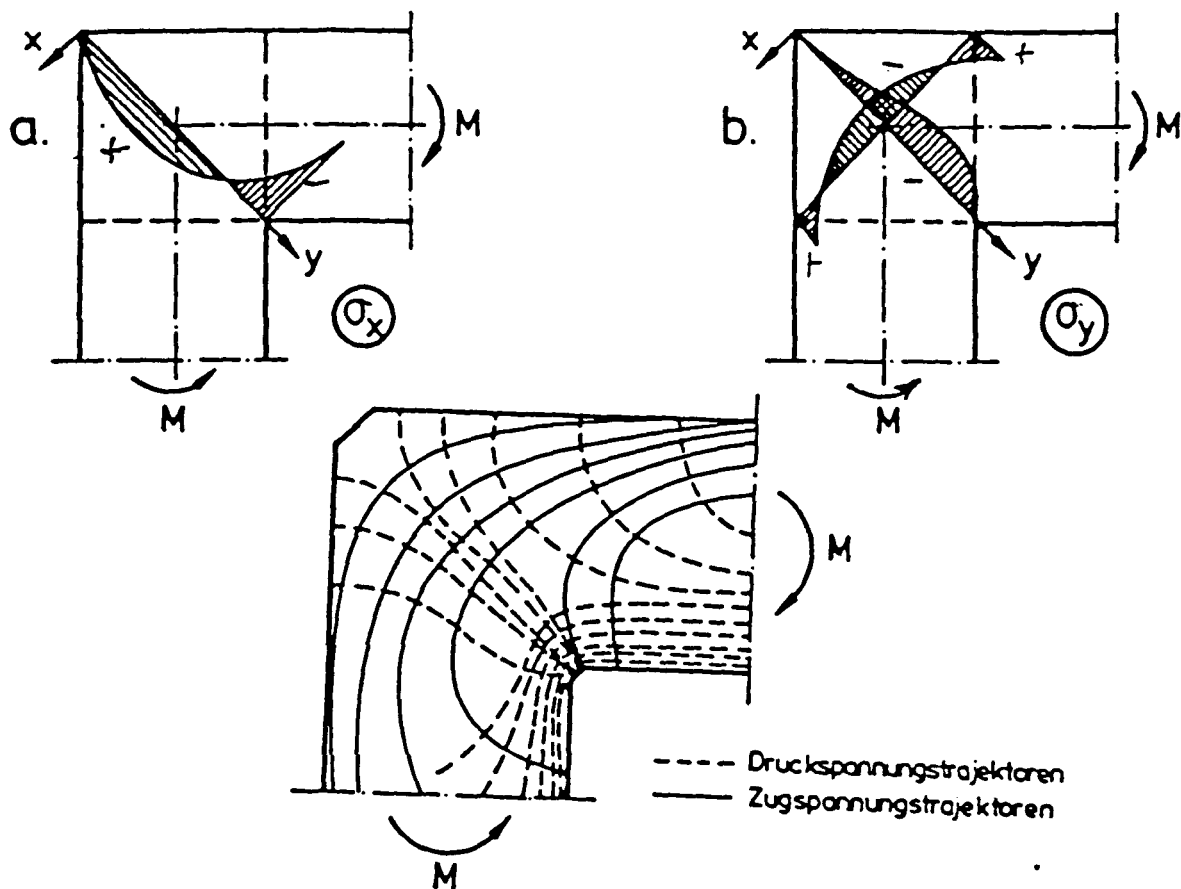


Bild 18a: Spannungsverteilung in einer Rahmenecke mit negativer Momentenbeanspruchung im ungerissenen Zustand

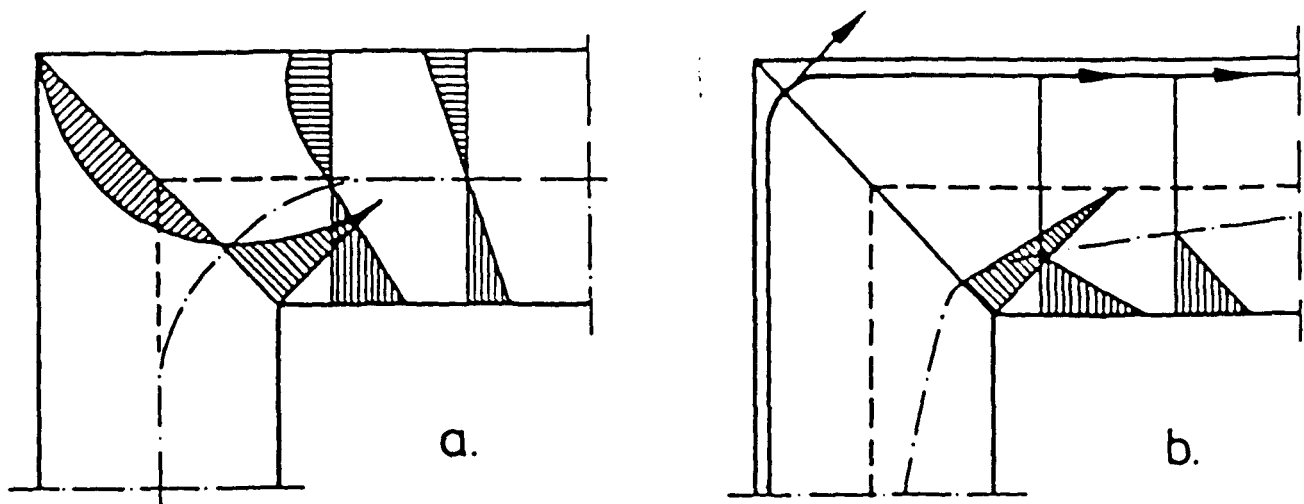


Bild 18b: Veränderung der Nulllinienlage durch die Rißbildung

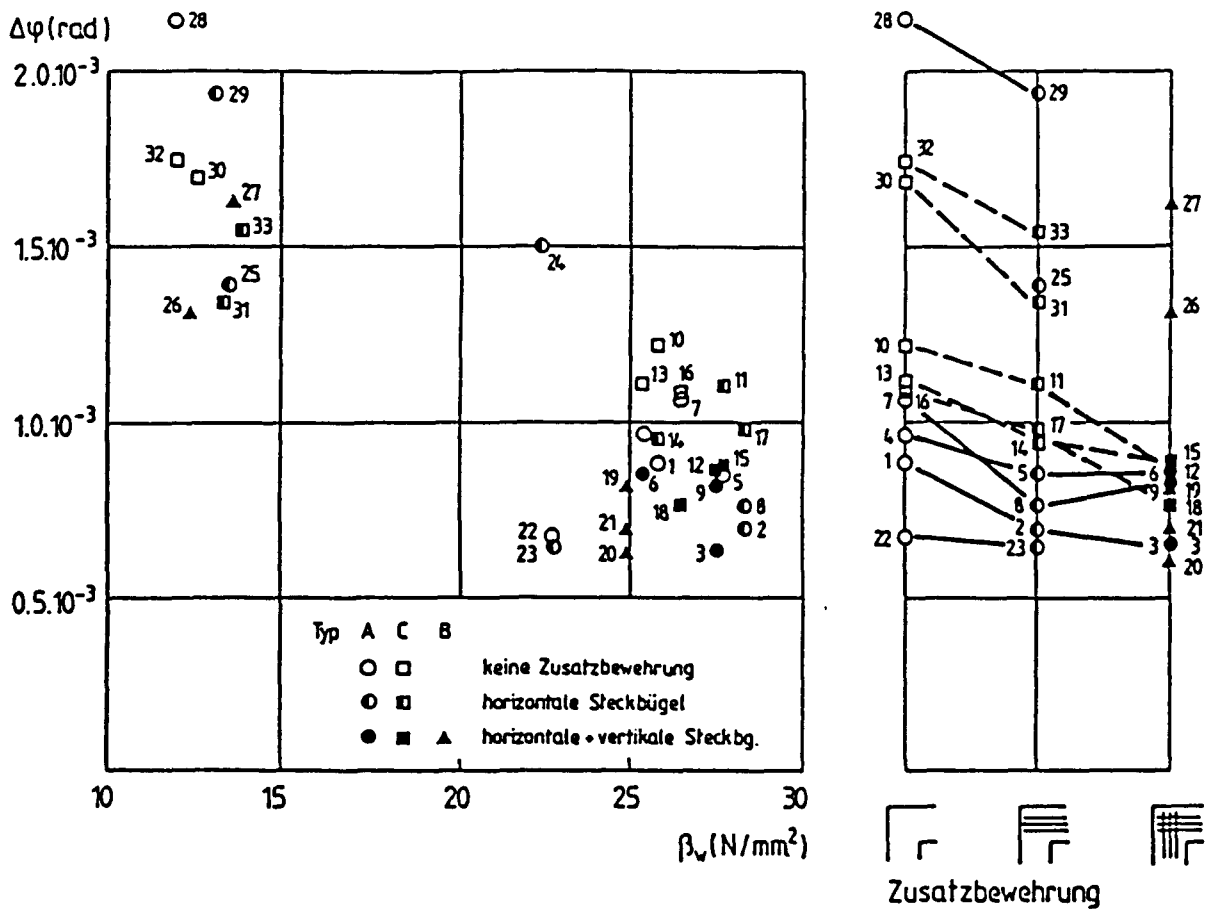


Bild 19a: Gemessene Winkeländerungen der Versuche von Stroband/Kolpa bei einem negativen Gebrauchsmoment von 1,5 kNm [7]

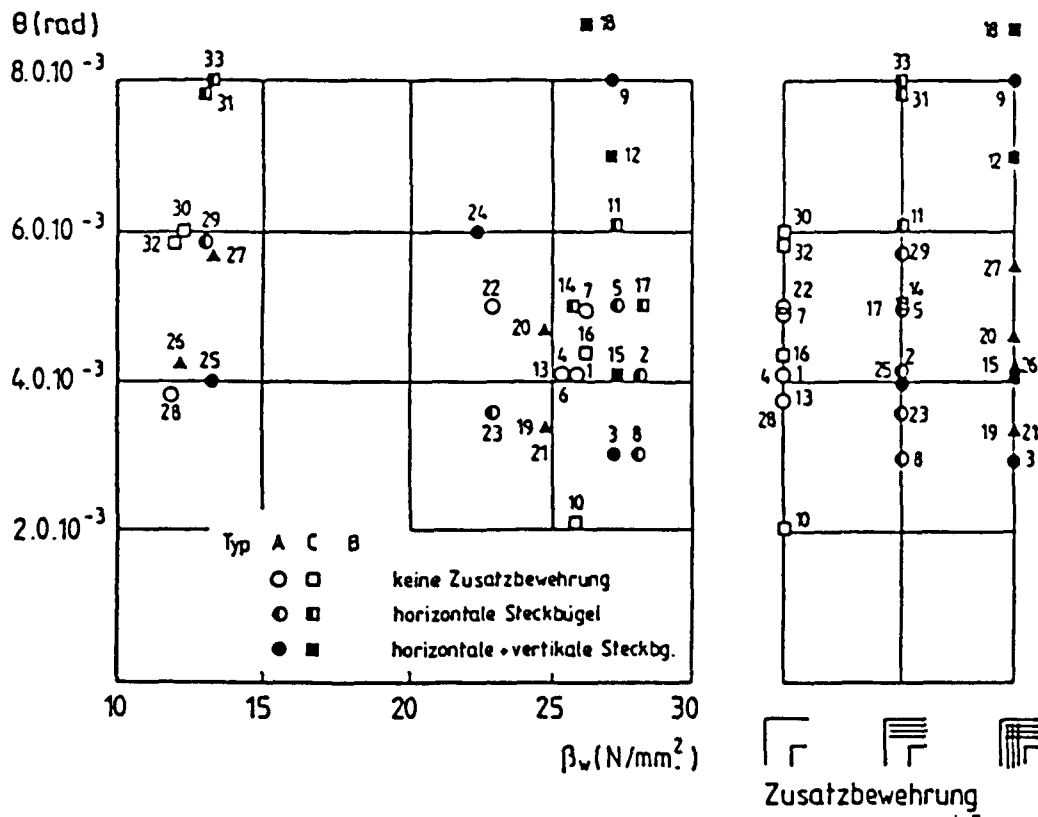


Bild 19b: Gemessene Winkeländerungen der Versuche von Stroband/Kolpa im Bruchzustand - negatives Moment [7]

In [7] wird die Rotationsfähigkeit einer Rahmenecke unter negativem Moment mit der eines Durchlaufträgers über der Mittelstütze verglichen; es ergibt sich folgendes:

Die Rotationsfähigkeit eines Stahlbetonquerschnitts im Bruchzustand ergibt sich zu

$$\begin{aligned} \theta_{pu} &= d \cdot \kappa_{pu} & d &= \text{statische Höhe} \\ \text{mit } \kappa_{pu} &= \kappa_u - \kappa_e & \kappa_e &= \text{Krümmung bei Fließbeginn} \\ & & \kappa_u &= \text{Krümmung im Versagenszustand} \end{aligned}$$

Aus der Querschnittsanalyse des Rahmenriegels wurde für  $M_e = 2,78 \text{ kNm}$  und  $M_u = 2,82 \text{ kNm}$  unter Ansatz der Druckbewehrung von  $2 \phi 6$  (bds.  $\rho_e = 0,56/10,87 = 0,75 \%$ ) und bei einer Normalkraft von  $7,5 \text{ kN}$  der Wert

$$\kappa_{pu} = 137 \cdot 10^{-6} - 30 \cdot 10^{-6} = 107 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

abgeleitet. Die Rotationsfähigkeit eines Stahlbetonbalkens mit  $d = 108 \text{ mm}$  beträgt daher im Bruchzustand über einer Mittelstütze

$$\theta_{pu} = 108 \cdot 107 \cdot 10^{-6} = 11,5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Die Rotationsfähigkeit der Rahmenecke mit horizontalen und vertikalen Steckbügeln betrug demgegenüber (Bild 9 b) etwa

$$6,0 \cdot 10^{-3} \text{ rad,}$$

also nur etwa die Hälfte [7].

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse der Auswertung der vorliegenden Versuche im Hinblick auf die Abweichungen gegenüber der Winkeltreue und über die Rißbreiten, jeweils unter Gebrauchslastbedingungen und Bruchzustand, nach [7] zusammengestellt.

Tabelle

	Winkeländerung in rad. $10^{-3}$				Rißbreite in mm			
	$\leq B 15$		$\geq B 25$		$\leq B 15$		$\geq B 25$	
Betongüte Zusatz- bewehrung*)	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
a) Gebrauchszustand								
positives Moment	- 4,0	-	2,5	1,0	0,45	0,25	0,30	0,15
negatives Moment	1,5	- 1,5	1,0	0,75	-	-	0,30	0,20
b) Bruchzustand								
positives Moment	6,0	- 2,0	5,5	1,5				
negatives Moment	5,0	5,0	7,0	4,0				

\*) bei positivem Moment: Schrägstab  
bei negativem Moment: kreuzende Steckbügel

Ein Vergleich der Zahlen zeigt, daß eine Betongüte niedriger als B 15 unzulässige Rißbreiten bei positiven wie negativen Momenten erwarten läßt. Die Abweichungen von der Winkeltreue werden deutlich geringer bei Verwendung einer Betongüte von höher als B 25, wobei der Einbau von Schrägstäben bei positivem Moment eine außerordentlich versteifende Wirkung aufweist [6, 7].

## 1.4 Rahmenknoten

### 1.4.1 Ebene Rahmenendknoten

Auch bei Rahmenendknoten kann man die lineare Biegelehre nicht mehr anwenden. Die Dehnungsverteilung im Knotenanschlußbereich ist nicht mehr gradlinig, sondern gekrümmt.

Die Spannungstrajektorien im Knotenbereich zeigen schon im Zustand I einen turbulenten Verlauf, der sich deutlich von demjenigen der übrigen Bereiche unterscheidet (siehe Bild410).

Beim Übergang vom Zustand I in den Zustand II entsteht zunächst ein Kerbspannungs-Anriß in der positiven Ecke. Dies bedeutet, daß die nunmehr nicht mehr vom Beton aufnehmbaren Zugkräfte überwiegend von der Bewehrung aufgenommen werden. Bei höheren Beanspruchungen kommt es zu einem oder mehreren Diagonalarissen im Knotenbereich (siehe Bild410). Bedingt durch die Einleitung des Rieglmomentes in den Riegelknoten tritt ein Vorzeichenwechsel im Momentenverlauf der Stütze zwischen den Anschnitten OK und UK Riegel auf, sofern auf das statische System keine weiteren Kräfte einwirken. Es können u.U. erhebliche Stahlspannungsänderungen in der durchlaufenden Stützen-Längsbewehrung auftreten.

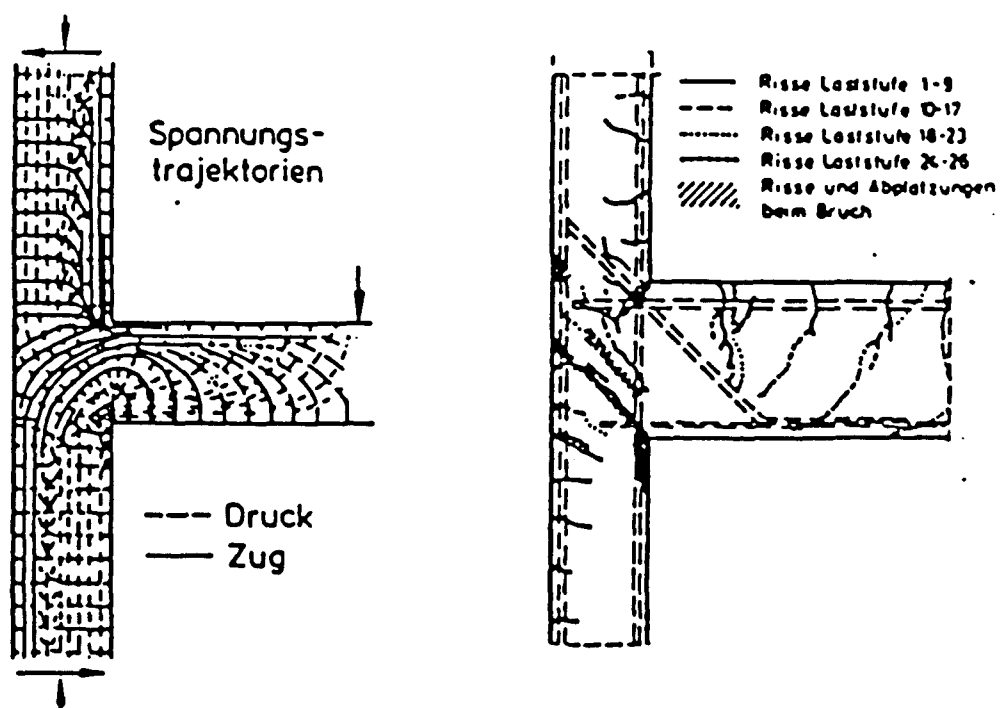


Bild410: Spannungstrajektorien und Rißbild eines Rahmenendknotens



Im ungünstigen Fall kann die innenseitige Stützenbewehrung im oberen Riegel-Anschnitt mit der zulässigen Stahlzugspannung und im unteren Anschnitt mit der zulässigen Stahldruckspannung beansprucht werden. Die hierzu erforderlichen Differenzkräfte müssen über Verbundspannungen in einem sehr kurzen Bereich (Bauhöhe des Riegels) in die Stützenlängsbewehrung eingeleitet werden, wodurch die Verbundfestigkeit i.a. überschritten wird.

Durch eine geeignete Bewehrungsführung ist ferner sicherzustellen, daß die Riegelzugkräfte in den Knoten eingeleitet und in die angrenzenden Stützenabschnitte fortgeleitet werden können. Der sich im Zustand II einstellende Kräfteverlauf sowie die übliche Bewehrungsform eines Rahmenendknotens sind in Bild 1.11 dargestellt.

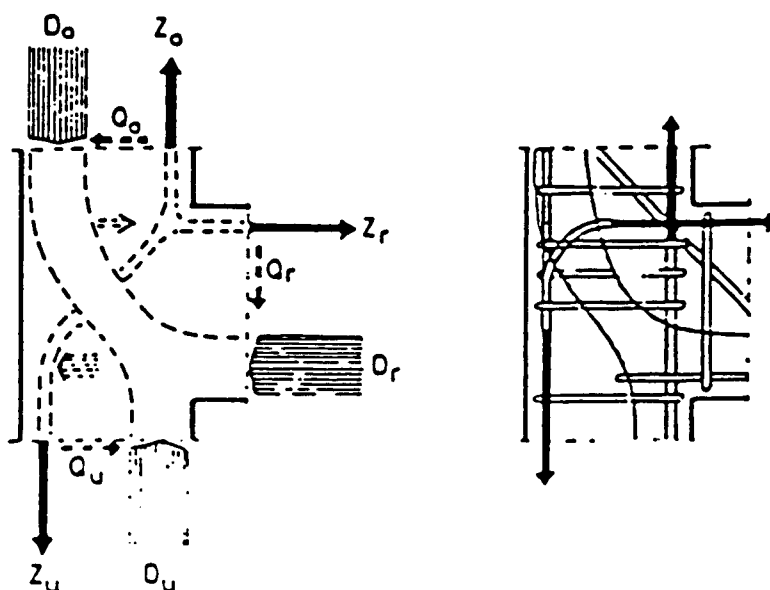


Bild 1.11: Idealisierter Kräfteverlauf sowie übliche Bewehrungsführung eines Rahmenendknotens

Die bisherigen experimentellen Untersuchungen wurden überwiegend mit der Zielsetzung durchgeführt, eine optimale Bewehrungsform herauszufinden, so daß seine Tragfähigkeit größer als diejenige der anschließenden Rahmen bzw. Stielanschnitte ist. Mit der Zielsetzung, die Knoten Tragfähigkeit zu berechnen bzw. auch Aussagen über die Duktilität von Rahmenknoten zu treffen, wurden alle verfügbaren Versuche ausgewertet [5].

In Bild 12 sind die Ergebnisse aller erreichbaren Versuche dargestellt, wobei das bezogene Riegelanschnittmoment in Abhängigkeit vom mechanischen Bewehrungsgrad des Riegels dargestellt wurde. Das Riegelanschnittmoment wurde deshalb gewählt, weil Querschnittsanalysen zeigen, daß in der Mehrzahl der

Fälle die Riegeltragfähigkeit die theoretische Traglast bestimmt. Außerdem ist in dem Bild die theoretische Traglastlinie eines durch reine Biegung beanspruchten Riegel-Querschnitts ohne Druckbewehrung eingetragen. Der strichlierte Teil dieser Kurve bedeutet, daß hier ein Versagen der Betondruckzone vorliegt. Obwohl Versuche mit sehr unterschiedlicher Bewehrungsführung im Knotenbereich zusammengefaßt wurden, ist doch eine Tendenz erkennbar:

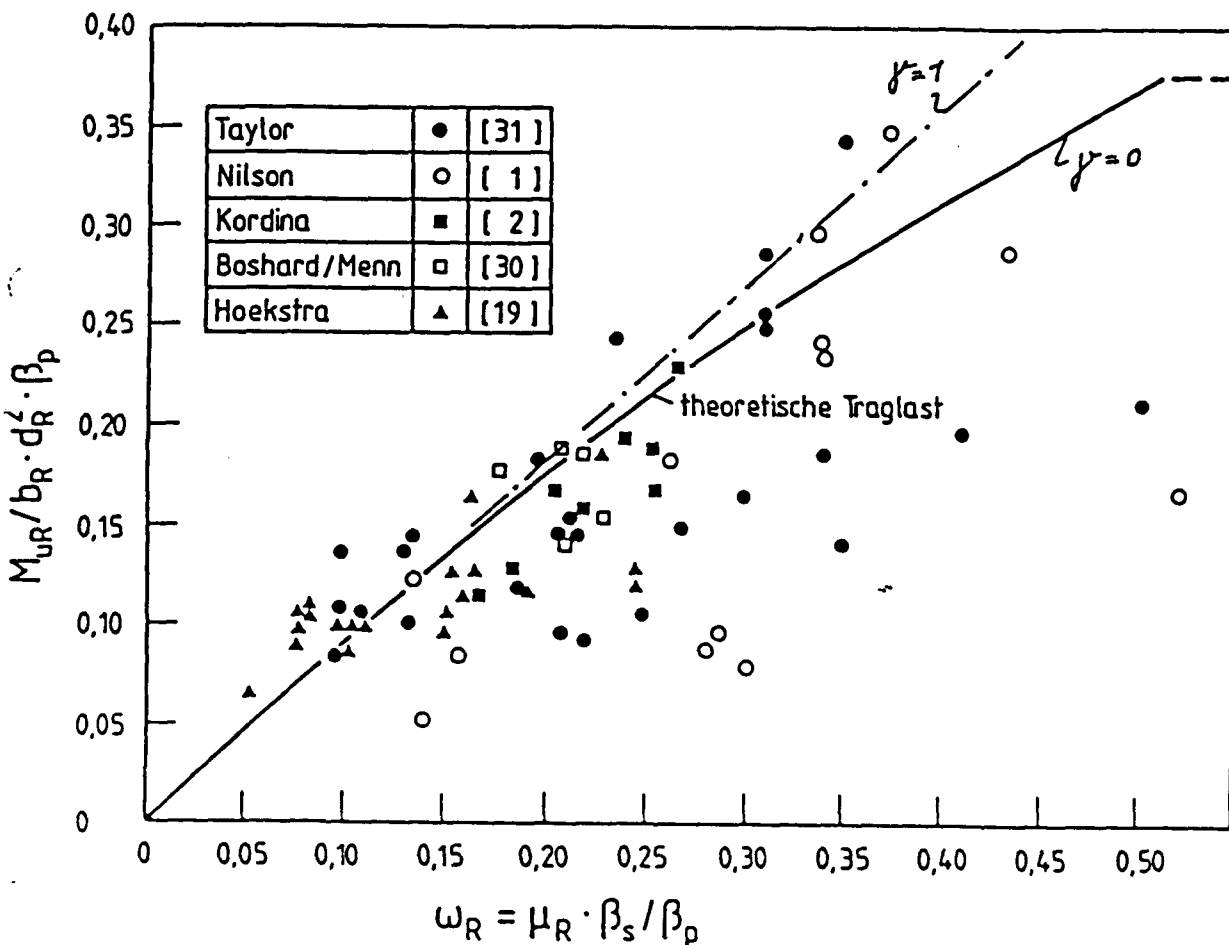


Bild 12: Abhängigkeit des Knotenbruchmomentes vom Riegelbewehrungsgrad bei ebenen Rahmenknoten

Nur bis zu einem begrenzten mechanischen Bewehrungsgrad entspricht die Knoten-Traglast der Riegeltraglast. Bei höheren mechanischen Bewehrungsgraden als etwa  $\omega_R = 0,20$  ist trotz Verdoppelung des Bewehrungsgehaltes nur ausnahmsweise eine wesentliche Steigerung der Tragfähigkeit zu erwarten ( $\omega_R = 0,20$  entspricht etwa  $\mu_R = 1,2 \%$  bei  $\beta_s = 500$  und  $\beta_p = 30$ ). Die vergleichsweise hohen Werte für  $M_{uR}$  z.B. der Versuche von Nilson [1] mit  $\omega_R = 0,35$  wurden mit erhöhten geometrischen Riegel-Bewehrungsgehalten  $\mu_R$  und Betonstählen mit  $\beta_s \geq 600 \text{ N/mm}^2$  erzielt.

Ursache des Versagens ist im Regelfall entweder ein Verbundversagen der Stützenlängsbewehrung oder eine Druckstrebenzerstörung im Knotenbereich.

Die Lastabtragung im Knotenbereich, vor allem hinsichtlich der Aufnahme der Riegelquerkraft, erfolgt bei Rahmenknoten mit Schrägstäben unterschiedlich gegenüber denjenigen ohne solche Zusatzbewehrung. Allerdings ist die Schubbeanspruchung im Knotenbereich und damit auch die Schub-Traglast unabhängig von der Riegelbewehrungsführung. Dieser Sachverhalt wird auch durch experimentelle Untersuchungen bestätigt.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der älteren experimentellen Untersuchungen vor allem im Hinblick auf das zu erarbeitende Bemessungsmodell dargestellt und erläutert. Hierbei wird im wesentlichen auf [2] zurückgegriffen. Ein wesentliches Ergebnis dieser experimentellen Untersuchungen ist die Tatsache, daß der Bruch fast ausschließlich im Stützenanschnittbereich eingeleitet wurde, obwohl bei den meisten Versuchskörpern die rechnerischen Schnittgrößen im Riegelanschnitt für das Versagen maßgebend waren. Zur Erklärung dieses Umstandes ist eine Darstellung des Beanspruchungsverlaufs eines Rahmenknotens bzw. der Stützen angezeigt (Bild 113).

Aus Bild 113 wird deutlich, daß der Knotenbereich einer hohen Querkraftbeanspruchung unterworfen wird. Hierbei wird die Analogie zum Tragverhalten eines durch auflagernahe Einzellasten beanspruchten Trägers deutlich, vor allem dann, wenn man das Rißbild im Versagenszustand betrachtet (Bild 114), weil die Biegedruckkraft des Riegels wie eine auflagernahe Einzellast und die Riegelzugbewehrung wie ein indirektes Auflager wirken. Es zeigt sich, daß die konstruktive Ausbildung des indirekten Auflagers die Knotentragfähigkeit erheblich beeinflußt.

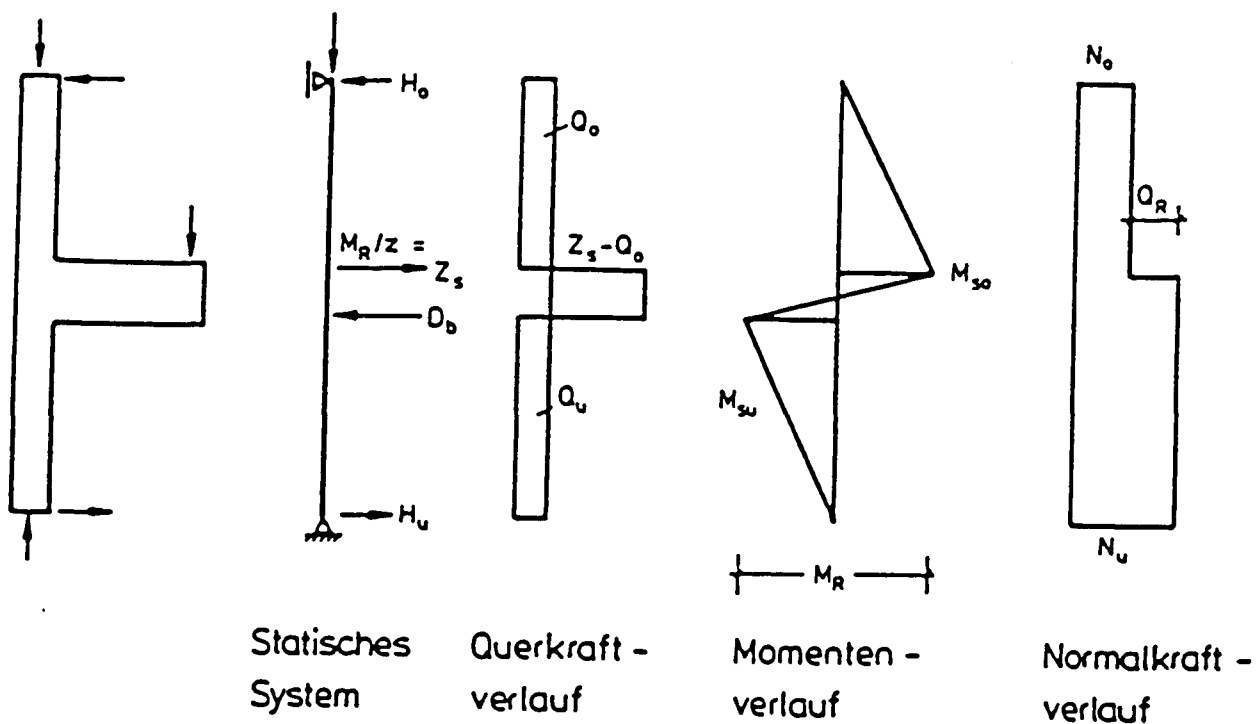


Bild 1.13: Beanspruchungsverlauf der Stützen im Rahmenendknotenbereich

Folgerichtig zeigen die Versuche mit einer Plattenverankerung der Riegelbewehrung am äußeren Stützenrand eine verhältnismäßig große Knoten Tragfähigkeit vor allem deshalb, weil ein ideales Widerlager zur Aufnahme der Druckstrebe erzeugt wird. Da diese Lösung jedoch sehr praxisfremd erscheint, sind durch entsprechende Verbügelungen im oberen Stützenanschnitt annähernd gleichwertige Lösungen zu schaffen. Entsprechend wird auch in [2, 13] eine enge Verbügelung in diesem Bereich gefordert.

Zusätzlich übt die Verankerungsart der Riegelbewehrung in der Stütze einen großen Einfluß auf die Tragfähigkeit aus: Wird die Riegelzugbewehrung in die obere Stütze geführt, findet die Knotendruckstrebe kein Auflager, und der Bruch tritt unmittelbar nach Diagonalrißbildung ein. Das Bruchbild eines Knotens mit derart mangelhafter Bewehrungsführung ist in Bild 15 dargestellt.

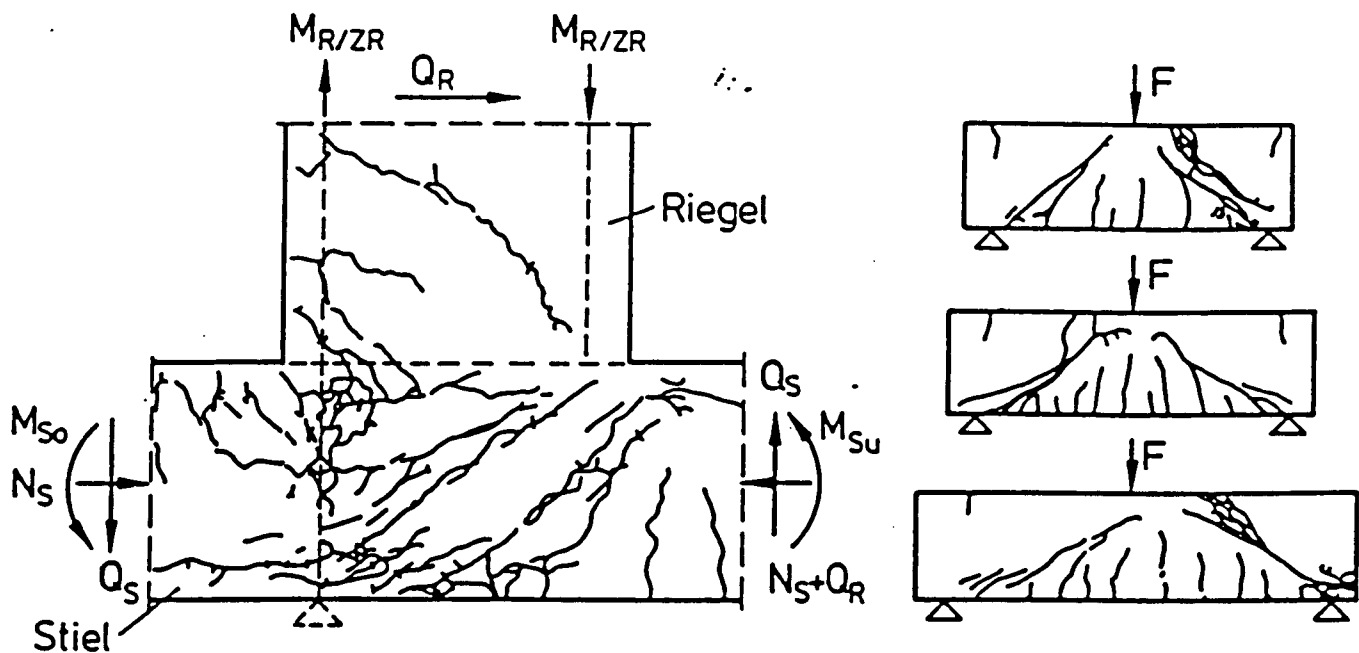


Bild 1.14: Analogie zwischen dem Rißverhalten eines Rahmenendknotens und eines durch auflagernahe Einzellasten beanspruchten Balkens

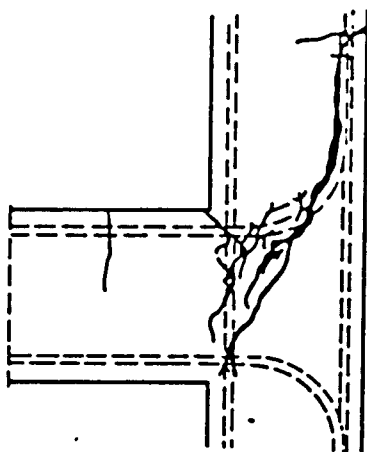


Bild 1.15:  
Bruchbild eines Rahmenknotens mit Verankerung der Riegelzugbewehrung in der oberen Stütze

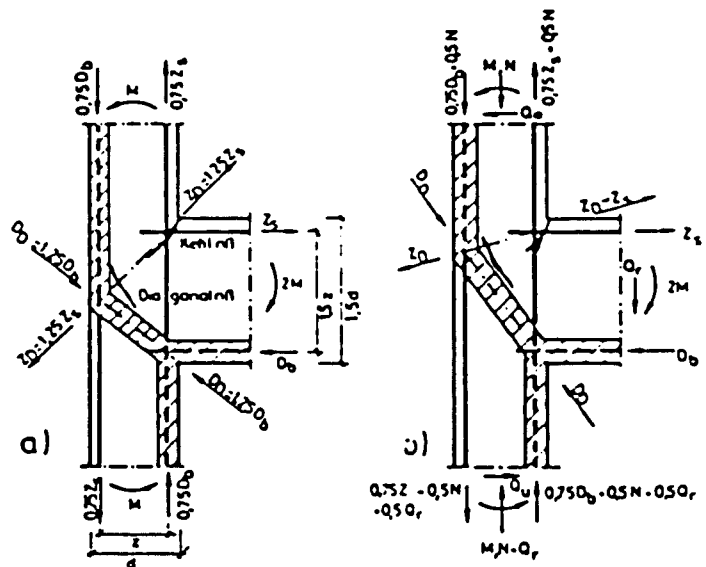


Bild 1.16:  
Idealisierter Kräfteverlauf in einem Rahmenendknoten nach Fachwerkanalogie

Wird dagegen die Riegel-Zugbewehrung in die Stütze nach unten geführt, ist das Tragverhalten wesentlich besser. Eine zusätzliche Schrägbewehrung im Knotenbereich erfüllt vornehmlich zwei Funktionen: Zum einen sorgt sie für eine bessere Aufnahme der Zugkräfte in der oberen Ecke des Riegelan-

anschnitts, und zum anderen bewirkt sie eine Beschränkung der Breite des Kehlrisse. Bei den Versuchen ohne Schrägstäbe klaffte der Kehlriß schon unter rechnerischer Gebrauchslast weit über die als zulässig angesehene Rißbreite von 0,3 mm auf.

Die Richtung des Kehlrisse wird von der Schnittgrößenverteilung im Knoten beeinflußt, wie Bild 116 zeigt: Wirkt im Stiel eine von oben kommende Normal-Druckkraft, verläuft der Kehlriß steiler.

Der Verlauf der Stahldehnungen in der Stützenlängsbewehrung entspricht weitgehend dem Momentenverlauf und wird in Bild 117 dargestellt. Bei einzelnen Versuchen fällt auf, daß die Stauchung der außenliegenden Längsbewehrungsstäbe der Stützen oberhalb des Riegelanschnittes abfällt, während die Zug-Dehnung der innenliegenden Stäbe bis zum Anschnitt zunimmt. Auf der Druckseite entzieht sich also die Bewehrung schon vorzeitig der vollen rechnerischen Mitwirkung. Die Folge ist ein überproportionales Anwachsen der Betonstauchung. Bei Versuchen mit zusätzlicher Verbügelung des Knotenbereiches nimmt die Stauchung dagegen bis zum Anschnitt zu.

Ähnliche Beobachtungen wurden unterhalb des Riegelanschnittes gemacht: Die innenliegenden Längsbewehrungsstäbe der Stützen zeigen im unteren Knotenanschnitt deutlich die Tendenz, sich bei steigender Belastung (Druckseite) mehr und mehr der Mitwirkung zu entziehen, während die Betonstauchungen wieder überproportional anwachsen, sofern eine enge Verbügelung fehlt.

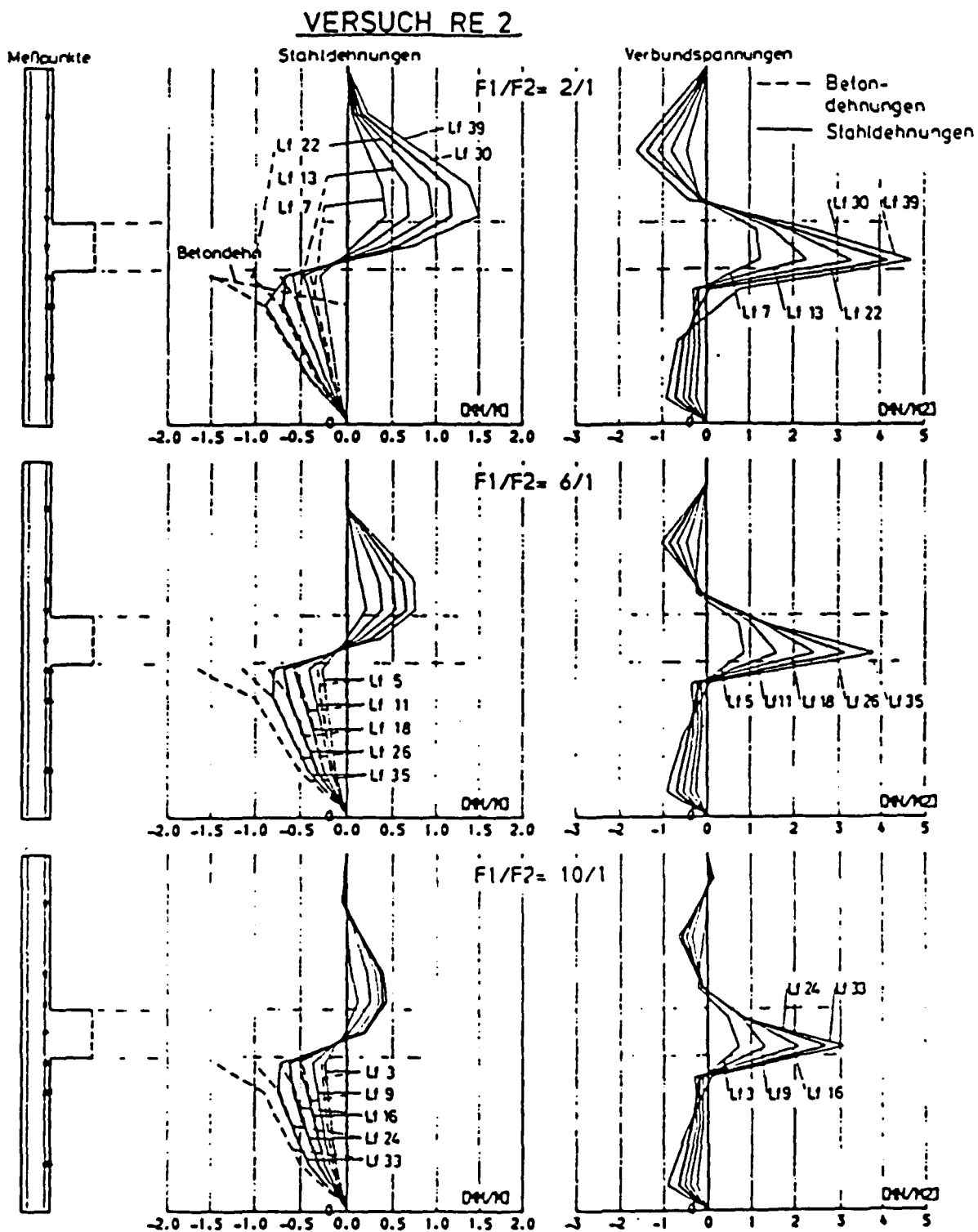


Bild 17: Stützenstahldehnungsverlauf (Versuch RE 2 aus Heft 354 [2])

Der Verlauf der Verbundspannungen in der durchlaufenden Stützenbewehrung entspricht theoretisch dem Querkraftverlauf und müßte somit bereichsweise konstant verlaufen. Die Meßergebnisse entsprechen jedoch nicht dieser Annahme: Bezogen auf die jeweilige Druckbewehrung (oberer Stützenabschnitt: außenliegende Bewehrung; unterer Stützenabschnitt: innenliegende Bewehrung) ändert die Verbundspannung schon vor dem Knotenanschnitt das Vorzeichen, wodurch ein Schlupf der jeweiligen Druckbewehrungen in diesem Bereich meßtechnisch nachgewiesen wird. Die Verbundspannung verläuft im Knoten nicht konstant, vielmehr wird der Maximalwert jeweils auf jener Seite des Knotenanschnittes erreicht, der in der Druckzone liegt, wobei vor allem am innenliegenden Längsbewehrungsstab unterhalb des Riegelanschnitts größere Absolutwerte der Verbundspannungen auftraten, da hier der Querdruck aus der Biegedruckkraft des Riegels die Verbundfestigkeit erhöht. DIN 1045 erlaubt nach Tabelle 19 für BS 25 B St 420/500 und Verbundbereich I unter Gebrauchslast zul  $\tau = 1,8 \text{ MN/m}^2$ . Im Versuch wurden dagegen unter Gebrauchslast rd.  $5,0 \text{ MN/m}^2$  für den innenliegenden Bewehrungsstab und  $3,0 \text{ MN/m}^2$  für den außenliegenden Stab ermittelt.



### 1.4.2 Räumliche Rahmenendknoten

Bei räumlichen Rahmenendknoten muß der Verlauf der inneren Schnittgrößen in ähnlicher Weise wie bei ebenen Rahmenendknoten erfolgen. Hier kann aber im Gegensatz dazu im gesamten Rahmenknotenbereich die mehraxiale Druckfestigkeit in Ansatz gebracht werden. Allerdings ergeben sich erhebliche Betonageschwierigkeiten, worauf die Versuchswerte hinweisen.

Es sind insgesamt nur drei Untersuchungen von Gheorgoussis/Phipps [14] durchgeführt worden, deren Ergebnis in Bild 1.18 dargestellt ist.

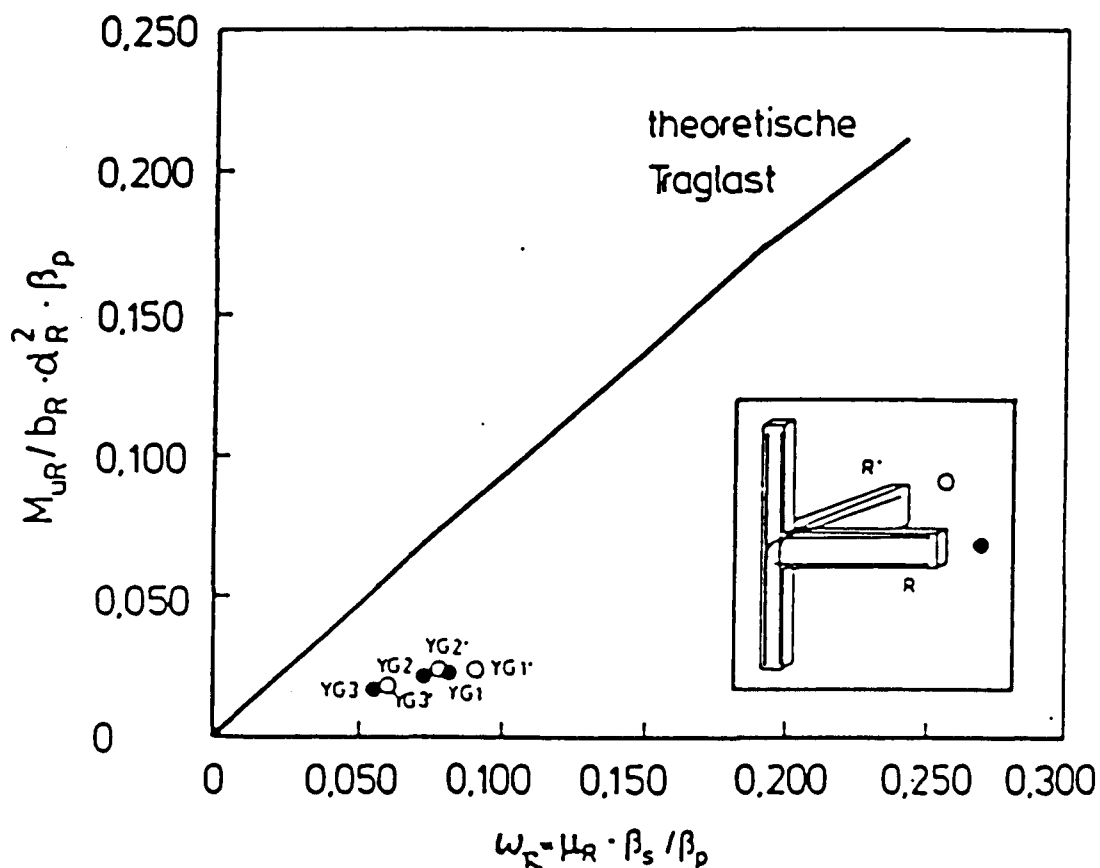


Bild 1.18: Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei den räumlichen Rahmenendknoten von GheorgoussisPhipps [14]

### 1.4.3 Ebene Rahmeninnenknoten

Bei Rahmeninnenknoten ist die Beanspruchung bzw. der Ausnutzungsgrad nicht sehr hoch, da hier die zweiachsiale Festigkeit des Betons in Ansatz gebracht werden kann. Da zudem in den meisten Fällen die Belastung links und rechts vom Knoten nicht allzu unterschiedlich ist, bleiben die in die Stiele überzuleitenden Momente aus Eigengewicht und Nutzlast klein. Dies

gilt jedoch nicht für Rahmen, die zur Aussteifung gegenüber Wind- und Erdbebenbelastung herangezogen werden. Deshalb wird dieser Lastfall u.a. auch von Stroband/Leguijt [15] untersucht. Es wurden insgesamt 16 Versuchskörper, deren Ergebnisse in Bild 1.19 dargestellt sind, einer derartigen Beanspruchung unterzogen.

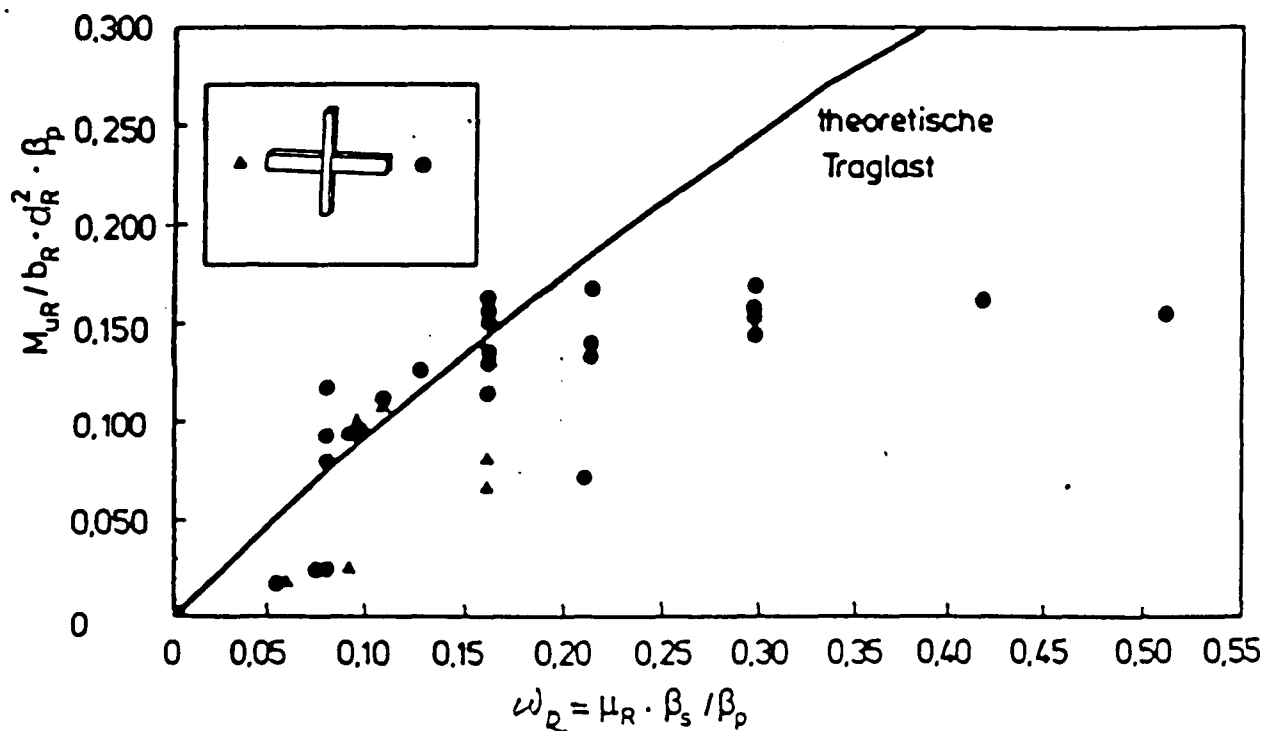


Bild 1.19: Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei ebenen Rahmeninnenknoten [14, 15, 27]

Auch diese Versuchsergebnisse zeigen, daß eine Steigerung der Riegelbewehrung über  $\omega_R \approx 0,2$  hinaus keine Erhöhung der Knotentraglast erwarten läßt



#### 1.4.4 Räumliche Rahmeninnenknoten

Es wurden insgesamt zehn Untersuchungen von Gheorgoussis/Phipps [14] an räumlichen Rahmeninnenknoten durchgeführt, deren Ergebnisse in Bild 1.22 dargestellt sind.

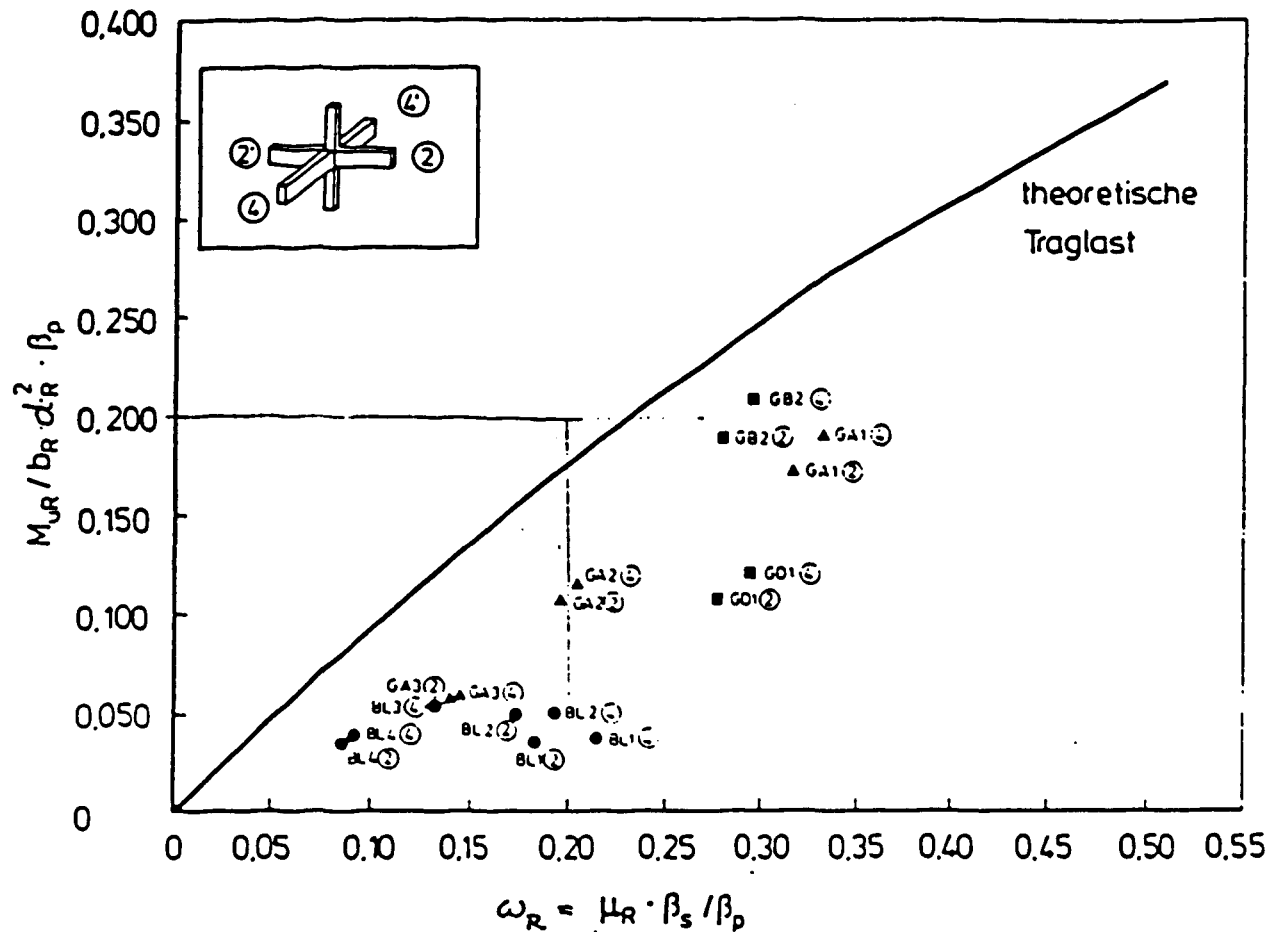


Bild 1.22: Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei räumlichen Rahmeninnenknoten [14]

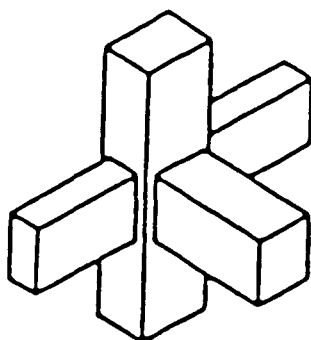
Gegenüber ebenen Innenknoten zeigen die Versuche geringere Knoten-traglasten, was einen ungünstigen Einfluß der schwierigeren Betonage im Knotenbereich vermuten läßt.

Diese Rahmenknotenformen werden in DIN 1045 sowie in der CEB-FIP-Vorschrift nicht behandelt. Lediglich in [2] sind einige Bemerkungen zur Bewehrungsführung von Rahmeninnenknoten enthalten. Es liegen zwar über die zweckmäßige Gestaltung der Bewehrung von Innenknoten in verschieblichen Rahmensekretten bislang keine ausreichenden Versuchserfahrungen vor, doch ist in den meisten Fällen die Belastung der Riegel links und rechts vom Knoten nicht allzu unterschiedlich. Dies gilt allerdings nicht für Windlast- und Verformungsmomente. Die Anordnung von Schrägbewehrungen entsprechend Bild 1.21b ist bei Rahmen mit hohen Wind- und Verformungsmomenten sowie bei erdbebengefährdeten Bauwerken angezeigt.

Im Gegensatz zu der Bemessungspraxis in der Bundesrepublik stellt diese Knotenart in den Vorschriften der USA [16] den Allgemeinfall dar. Hieraus können Bemessungshinweise der Rahmenendknoten sowie Rahmenecken abgeleitet werden.

In den Vorschlägen der ACI-ASCE Committees 352 werden sowohl räumliche Rahmenendknoten als auch Rahmeninnenknoten behandelt (Bild 1.23).

a) Endknoten



b) Innenknoten

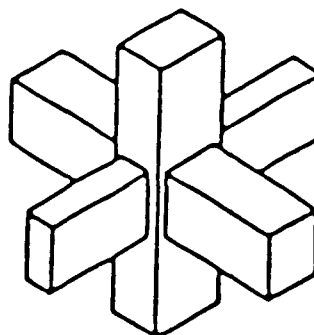
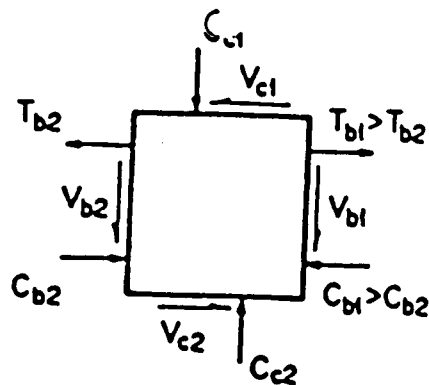


Bild 1.23: Typische Balken-Stützen-Verbindung

a) infolge Vertikallast



b) infolge Horizontallast

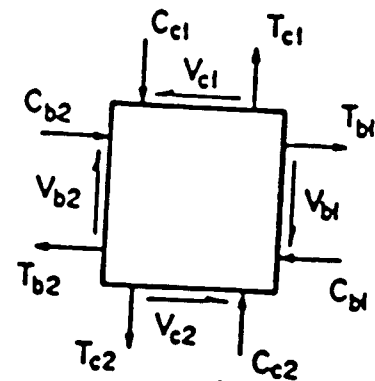


Bild 1.24: Kräfte in einem Rahmenknoten

Die Rahmenknoten sollen in der Lage sein, alle auftretenden Kräfte aufzunehmen und in die anschließenden Bauteile weiterzuleiten. Bild 24 zeigt die Kräfte, die in einem Rahmenknoten wirken können.

Hierbei bedeuten:

T = Zugkräfte

C = Druckkräfte

V = Querkkräfte

Index b für Balken und c für Stützen

Nach den Vorschlägen des ACI-ASCE Committees 352 sind die Rahmenknoten für Querkkräfte zu bemessen, wobei folgende Gleichung einzuhalten ist:

$$\phi V_n \geq V_u$$

wobei  $\phi = 0,84$  und  $V_n$  die nominelle Schubfestigkeit des Knotens darstellt und sich zu

$$V_n = \gamma \sqrt{f_c'} \text{ (psi)} b_j \cdot h \text{ bzw.}$$

$$V_n = 0,083 \gamma \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)} b_j \cdot h$$

ermittelt, wobei  $b_j$  die effektive Knotenbreite und  $h$  die Dicke der Stütze in Richtung der betrachtenden Last darstellt. Bei Vorhandensein von zwei Balken in der Belastungsrichtung sollte  $b_j$  als Mittel der beiden Balken-

breiten eingesetzt werden. Wenn die Balkenbreite  $b_b$  größer ist als die Stützenbreite  $b_c$ , sollte die effektive Knotenbreite mit  $b_c$  angenommen werden, wenn die Balkenbreite kleiner als die Stützenbreite ist, sollte die effektive Knotenbreite wie folgt berechnet werden:

$$b_j = (b_b + b_c)/2$$

Die Werte  $\gamma$  sind in Bild 1.25 dargestellt und hängen von der Rahmenknotenklassifikation ab. Der Wert der Druckfestigkeit  $f_c'$  sollte 42 MPa nicht überschreiten.

Knotentyp	Knotenklassifikation		
	(a) Innenknoten	(b) Außenknoten	(c) Eckknoten
1	24	20	15
2	20	15	12

Bild 1.25: Werte von  $\gamma$  für verschiedene Rahmenknoten

Die dem Bild 1.25 zugrunde gelegten Rahmenknotentypen sind in Bild 1.26 dargestellt.

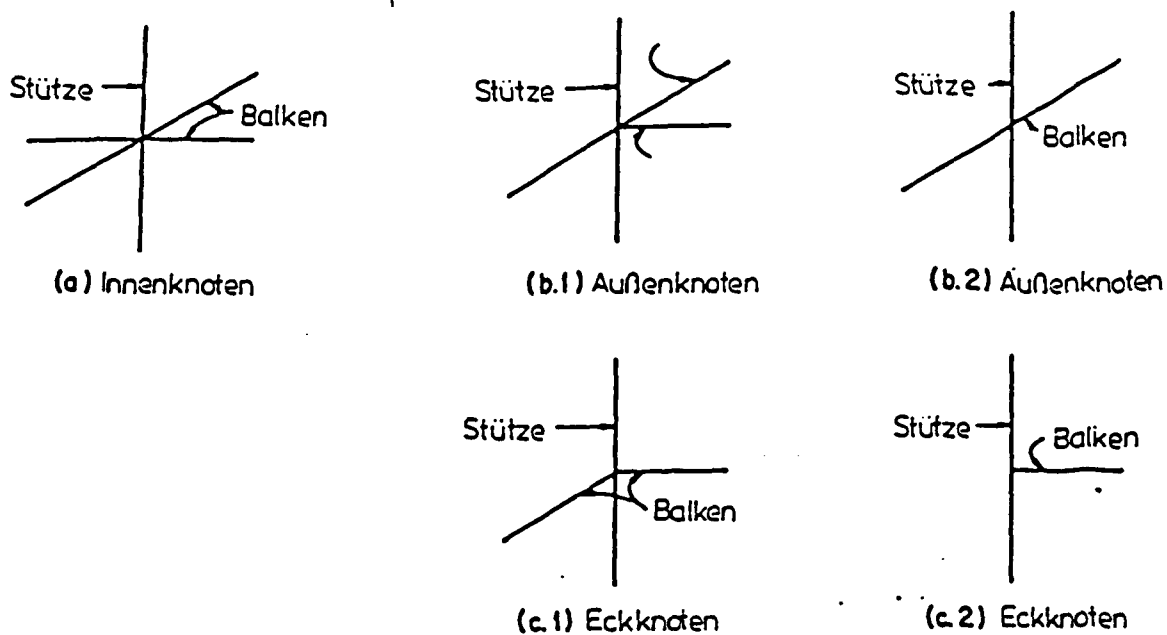


Bild 126: Klassifikation der Rahmenknoten

Die normalen Rechenoperationen zur Ermittlung des horizontalen Bemessungsschubs in einem Rahmenknoten sind in Bild 127 dargestellt.

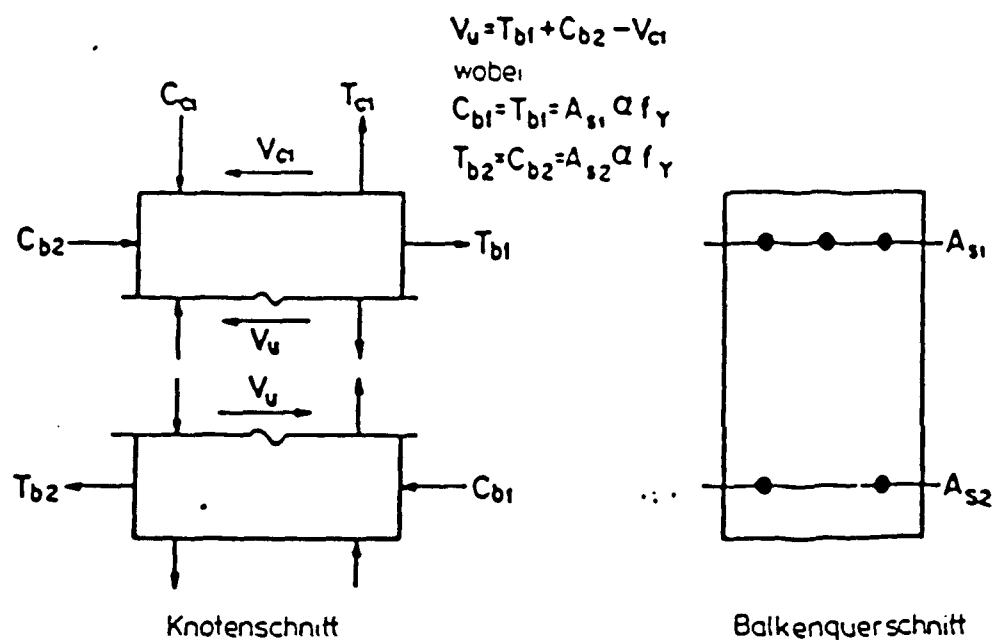


Bild 127: Ermittlung des Horizontalschubs im Rahmenknoten

Bei der Bewehrungsführung ist nach den Vorschriften des ACI-ASCE Committees 352 folgendes zu beachten: Der Durchmesser der Bewehrungseinlagen sollte eine Größe von 35 mm nicht überschreiten. Die minimale Verankerungslänge  $l_{dn}$  der Zueinlagen sollte nicht kleiner als  $3 d_b$  oder 150 mm sein.



## 1.5 Analyse des Verformungsverhaltens

### 1.5.1 Allgemeines

Die Analyse des Verformungsverhaltens besitzt vor allem zur Bestimmung der Schnittgrößenverteilung von statisch unbestimmten Tragwerken große Bedeutung. Hier spielt nicht nur die Steifigkeitsverteilung entlang der Tragwerksteile eine Rolle, sondern auch die Möglichkeit, ob an einer oder mehreren Stellen plastische oder zumindest örtlich große Verformungen entstehen können, wodurch bei Erreichen der Querschnittstragfähigkeiten eine Umlagerung der Schnittgrößen auf noch nicht ausgenutzte Nachbarbereiche erfolgen kann. Die Ausnutzung dieser Tragreserven ist nur möglich, wenn das Verformungsverhalten im plastischen Bereich und vor allem die Verformungsgrenzen bekannt sind.

Im inzwischen erstellten EC 2 sind einige zusätzliche Forschungsergebnisse eingeflossen. Neben der Abhängigkeit vom Verhältnis  $x/h$  wird auch noch das Verformungsverhalten der Stähle bei der Bestimmung der möglichen plastischen Rotation berücksichtigt.

Dabei unterscheidet man zwischen Stählen mit hohem und normalem duktilen Verhalten. Die Einteilung in diese beiden Stahlarten erfolgt dabei vorläufig nach folgenden Kriterien:

Hohe Duktilität (Stahl A):  $\epsilon_{uk} > 5,0 \text{ \%, } B_u/B_s > 1,08$

Niedrige Duktilität (Stahl B):  $\epsilon_{uk} > 2,5 \text{ \%, } B_u/B_s > 1,03$

Hierbei stellt  $\epsilon_{uk}$  die der Bruchspannung  $B_u$  entsprechende Dehnung dar.

Unabhängig hiervon wird ein Spezial-Betonstahl für Bauwerke in Erdbebengefährdeten Gebieten definiert, der sich durch noch höhere Duktilität als Stahl A auszeichne.

Im Bild 1.28 sind die nach EC 2 [17] erlaubten plastischen Rotationen von geraden Biegebalken eingetragen. Im Gegensatz zu den Angaben der CEB/FIP-Mustervorschrift wird ein Anstieg der plastischen Rotation im schwach bewehrten Bereich eingeschränkt.

Auf Rahmenecken und -knoten ist die Übertragung der an Balkentragwerken gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres möglich. Da jedoch nach Definition die plastische Krümmung einen Knick in der Biegelinie eines Balkentragwerkes liefert, kann man in Analogie dazu bei Rahmenecken in Rechteckrahmen den Rotationswinkel  $\theta_{p1}$  als denjenigen bezeichnen, der die Knotenverdrehung gegenüber der Planlage darstellt.

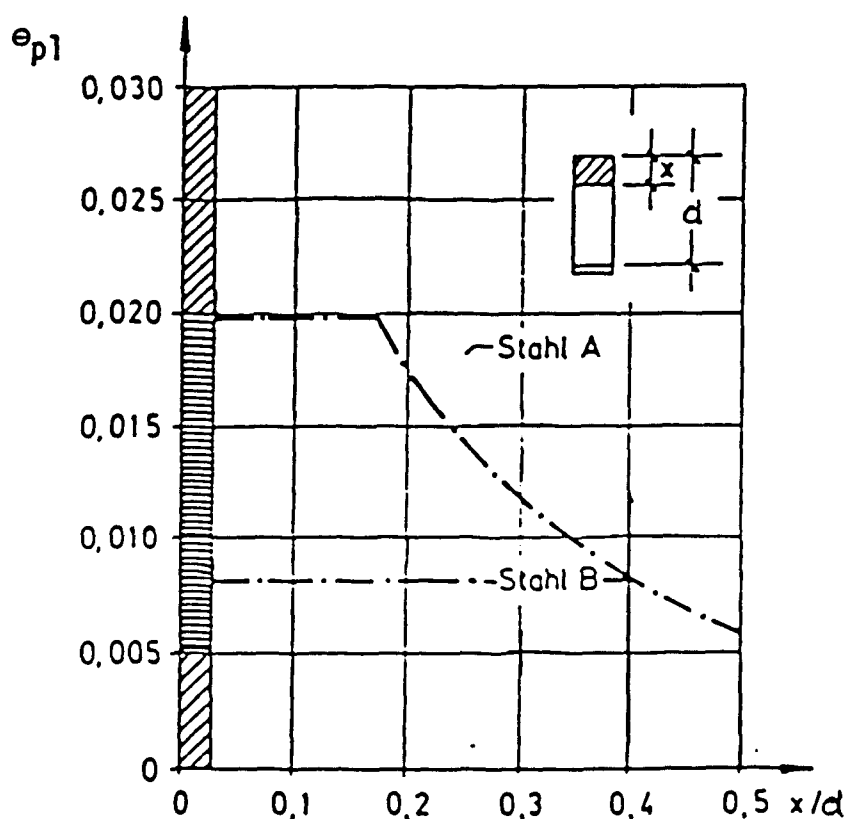


Bild 1.28: Plastische Rotation nach EC 2 [17] in rad

### 1.5.2 Verformungsverhalten von Rahmenecken mit negativem Moment

Wie schon in Abschnitt 1.3 erwähnt, haben Stroband/Kolpa [7] das Verformungsverhalten von Rahmenecken mit negativem Moment sowohl hinsichtlich des Rotationsvermögens als auch des Tragverhaltens ausführlich untersucht. Nachfolgend wird zunächst ihre Analyse der Versuchsergebnisse hinsichtlich

des Verformungsverhaltens dargestellt und darauf aufbauend der Versuch einer Verallgemeinerung wiedergegeben.

Das Verformungsvermögen der Rahmenecken kann annähernd als Funktion der Länge des horizontalen Astes der Lastverformungskurve bestimmt werden (Bild129).

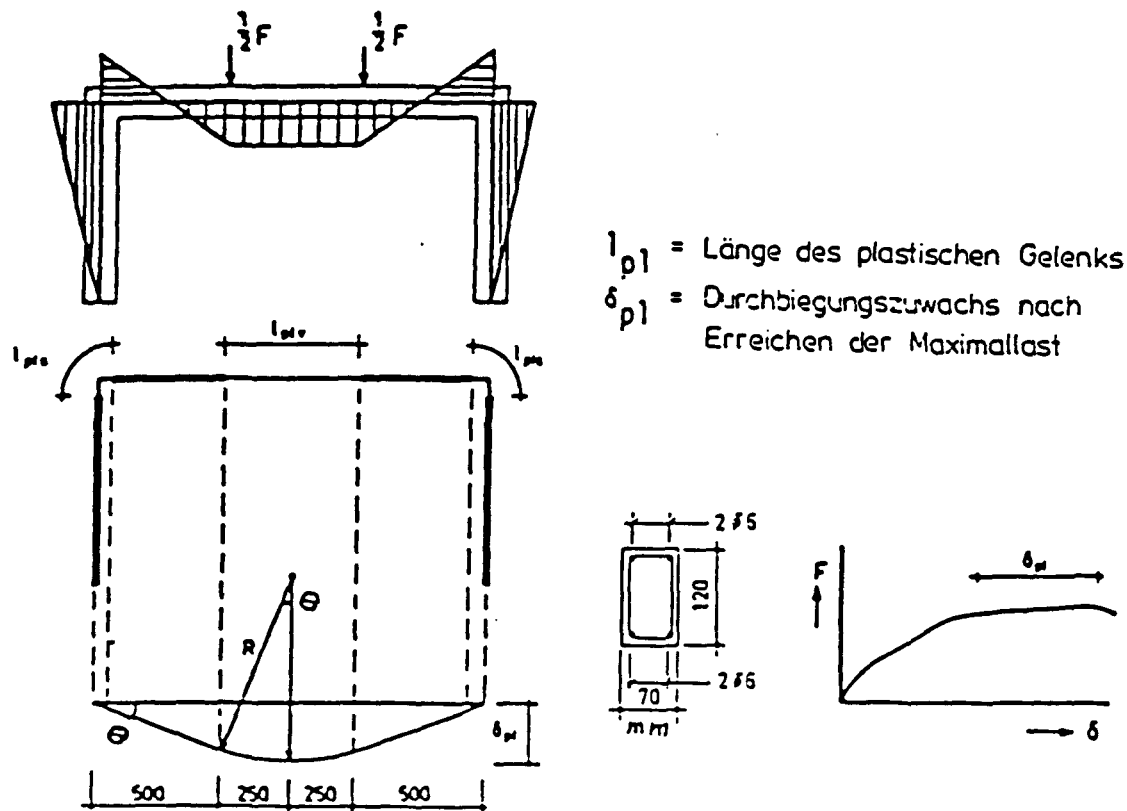


Bild129: Plastische Verformung der Prüfkörper von Stroband/Kolpa [7]

Nach Erreichen der Maximallast bildet sich an jeder Ecke des Portalrahmens ein plastisches Gelenk aus, von dem angenommen wird, daß es die Verformungen im Erschöpfungszustand entscheidend beeinflusst. Besitzt die Rotationskapazität den Wert  $\theta_{pu}$ , dann beträgt der gesamte plastische Rotationswinkel an den eingespannten Enden des Balkens  $\theta = 2 \cdot \theta_{pu}$ . Unter der Annahme, daß eine konstante plastische Krümmung in diesen Bereichen vorhanden ist und dem Fließmoment entspricht, ergibt sich die Zunahme der Verformung zu:

$$\delta_{pl} = 500 \cdot \tan \theta + \frac{250}{\sin \theta} (1 - \cos \theta) \approx 625 \cdot \theta \longrightarrow \theta = \frac{\delta_{pl}}{625}$$

Die Rotationskapazität beträgt dann

$$\theta_{pu} = \frac{1}{2} \theta = \frac{1}{2} \cdot \delta_{p1} / 625 = \frac{1}{1250} \delta_{p1} = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \delta_{p1}$$

(vergl. Abschn. 1.3).

Der mittlere Verformungszuwachs  $\delta_{p1}$  im plastischen Zustand der Prüfkörper mit einer Betongüte  $B_w = 26 \text{ N/mm}^2$  und Zusatzbewehrung betrug 7 mm. Der maximale Rotationswinkel  $\theta_{pu}$  beträgt danach  $0,8 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$ . Dieser Wert stimmt auch sehr gut mit den experimentell ermittelten Abweichungen  $\varphi$  von der Rechtwinkligkeit der Rahmenecken überein, deren Meßwerte im Gebrauchszustand in Bild 9a und derjenige im Bruchzustand in Bild 9b dargestellt sind. Dies bedeutet, daß  $\varphi = \theta_{p1}$  gesetzt werden kann. Bild 30 (identisch mit Bild 9b) zeigt, daß die Rotationsfähigkeit im Bruchzustand von der Betongüte und der Zusatzbewehrung beeinflusst wird.

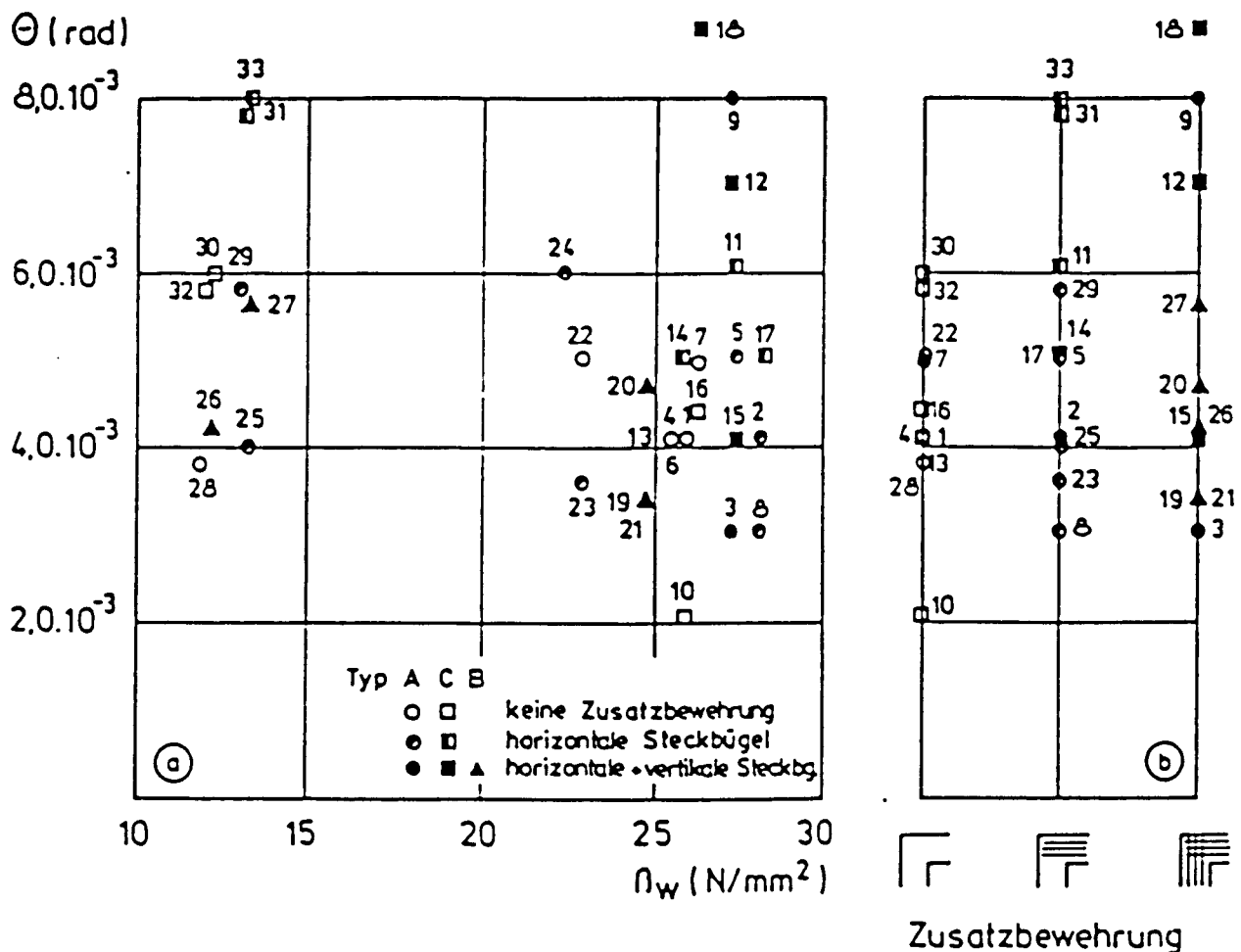


Bild 1.30: Gemessene Winkeländerungen der Versuche von Stroband/Kolpa [7] im Bruchzustand

Die Rotationsfähigkeit einer Rahmenecke mit horizontalen und vertikalen Steckbügeln ist nach den o.a. Überlegungen nur halb so groß wie diejenige eines Durchlaufträgers mit gleichen Querschnittsabmessungen und der gleichen Bewehrungsmenge und reicht bei weitem nicht an die in Bild428 angegebenen Grenzwerte heran.

Die Versuchskörper von Stroband/Kolpa waren nun derart konzipiert und belastet (siehe Bild431), daß nach elastizitätstheoretischer Berechnung das Feldmoment  $M_F$  betragsmäßig gleich dem Eckmoment  $M_E$  war. Ein Teil der Portalrahmen wurde nach dieser Momentenverteilung bemessen und besaß im Feld und im Eckbereich eine Biegebewehrung von  $2 \phi 6$ . Der Rest der Versuchskörper war im Feld mit einer Bewehrung von  $4 \phi 6$  und im Eckbereich unverändert mit  $2 \phi 6$  bewehrt.

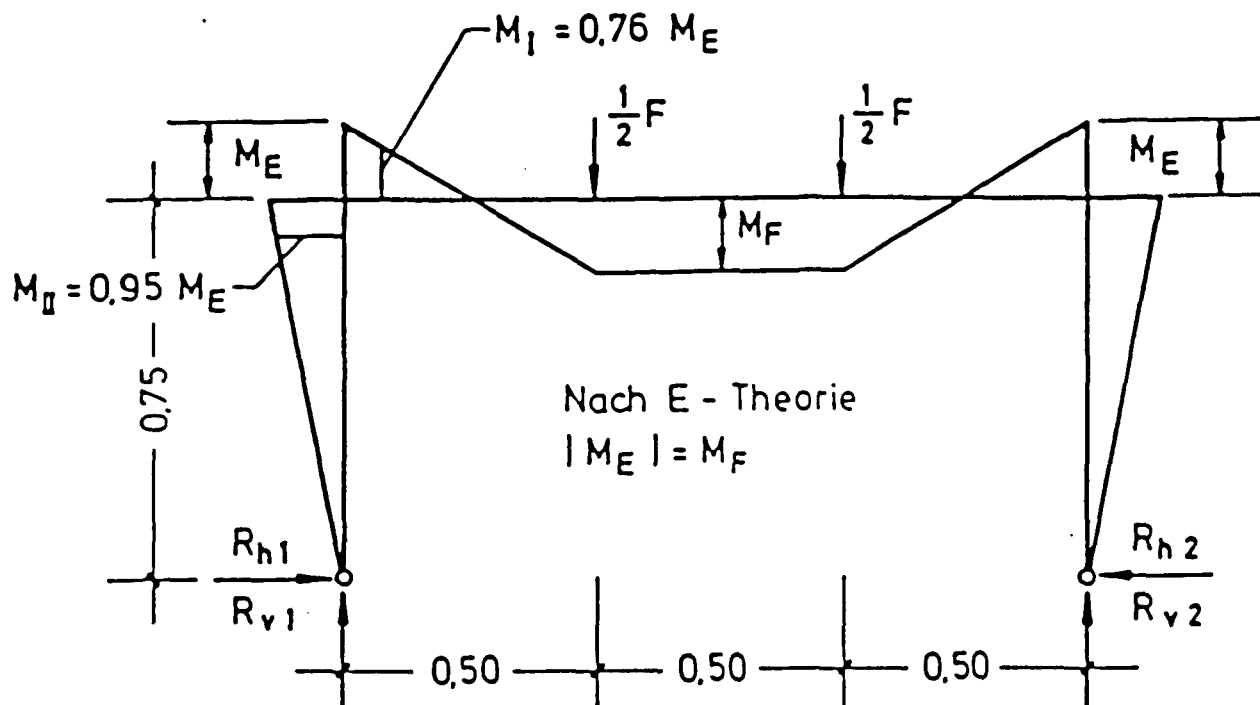


Bild431: Momentenverteilung der Versuchsbalken von Stroband/Kolpa

Dadurch, daß während des Belastungsablaufes auch die horizontalen Reaktionskräfte gemessen wurden, ist eine direkte Aussage über die Veränderung der Momentenverteilung infolge Steifigkeitsänderung bzw. Gelenkbildung möglich.

Im Bild 132 ist das experimentell ermittelte Verhältnis des Eck- zum Feldmoment der Rahmen mit gleicher Feld- und Eckbewehrung dargestellt. Bei geringer Belastung ist das Verhältnis kleiner als eins. Dies ist auf die Reibung der Lagerkonstruktion sowie auf Meßungenauigkeiten zurückzuführen. Bei höherer Belastung spielen diese Einflüsse nur noch eine untergeordnete Rolle.

Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse von Stroband an Ecken mit negativem Moment ist zu beachten, daß im Modellmaßstab von etwa 1:2 bis 1:3 gearbeitet wurde und die Querschnitte der Riegel und Stiele nur 70 x 120 mm betrugen. Die Betonüberdeckung der Bügel wurde mit 5 mm festgelegt, als Längsbewehrung dienten stets Stäbe  $\phi 6$ , je 2 an beiden Querschnittsrändern, in Sonderfällen 4  $\phi 6$ .

Der Parameter  $m$  in den Bildern 132 und 133, zugeordnet den vollauszogenen Linien, bedeutet das Verhältnis  $EI_{\text{Eck}}/EI_{\text{Riegel}}$  im Rahmen einer theoretischen Untersuchung;  $m = \infty$  bedeutet somit starre Riegel-Endeinspannung,  $m = 1$  bedeutet gleiche Steifigkeitsverhältnisse in Riegel und Rahmenecke.

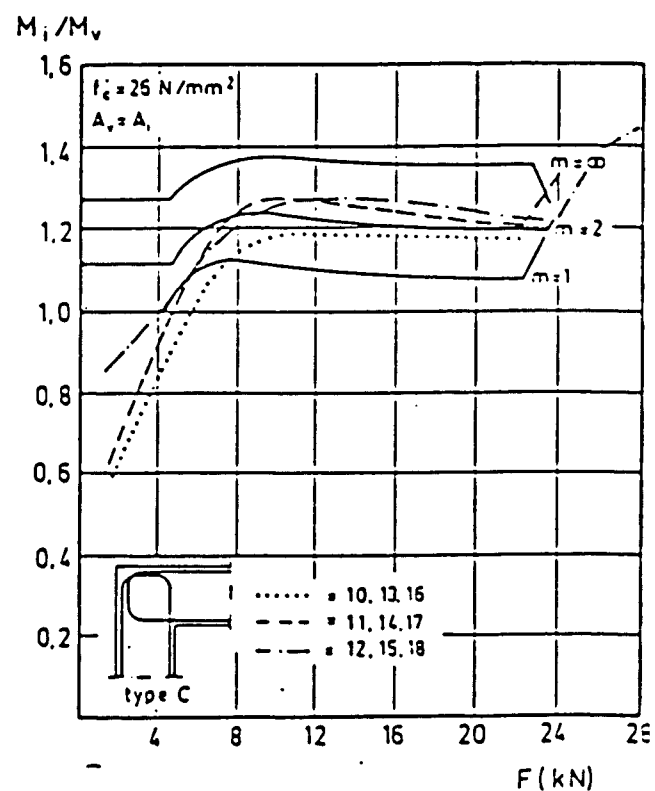
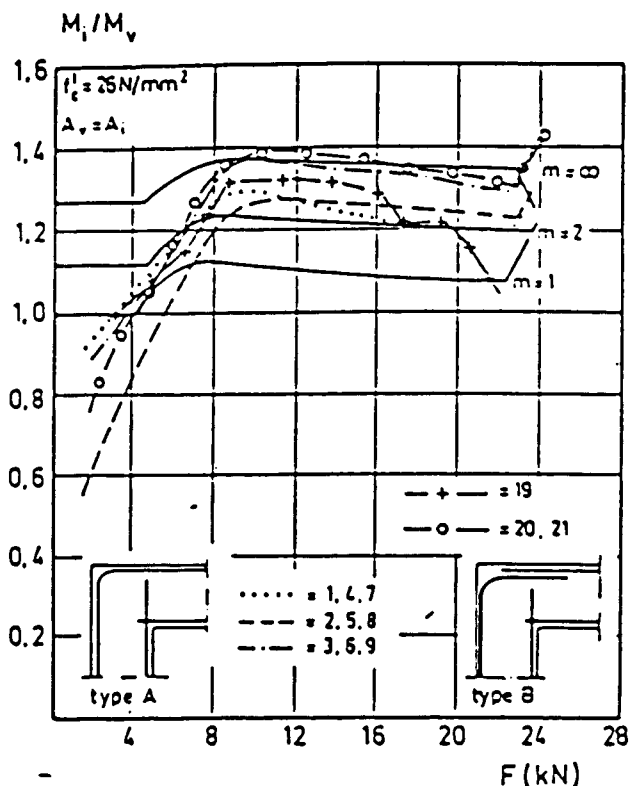


Bild 132: Momentenverteilung der Versuchsbalken von Stroband/Kolpa in Abhängigkeit von dem Belastungsgrad (Versuchskörper mit gleicher Feld- und Eckbewehrung);  $M_i$  = Anschnittsmoment,  $M_v$  = Feldmoment

Allgemein ist folgendes Verhalten festzustellen: Nach der Rißbildung vermindert sich die Biegesteifigkeit im Riegel drastisch. Dies führt zu einer Steigerung des Verhältnisses  $M_E/M_F$  um 30 % gegenüber dem E-theoretischen Verhältnis. Danach vermindert sich durch Rißbildung im Eckbereich dieses Verhältnis leicht. Im Bruchstadium erfolgt eine merkliche Zunahme des Eckmomentes, bedingt durch die Bildung eines Fließgelenkes im Rahmenriegel. Die Versuchskörper versagen letztlich bei Erreichen der Tragfähigkeit der Rahmenecke. In der Rahmenecke ist trotz gleicher Bewehrungsführung die Aufnahme eines betragsmäßig größeren Momentes  $M_E$  als in der Riegelmitte mit  $M_F$  möglich, da die Größe des Riegelanschnittmoments  $M_I$  die Tragfähigkeit bestimmt ( $M_I \approx 0,76 \cdot M_F$ ) (siehe Bild 1.31).

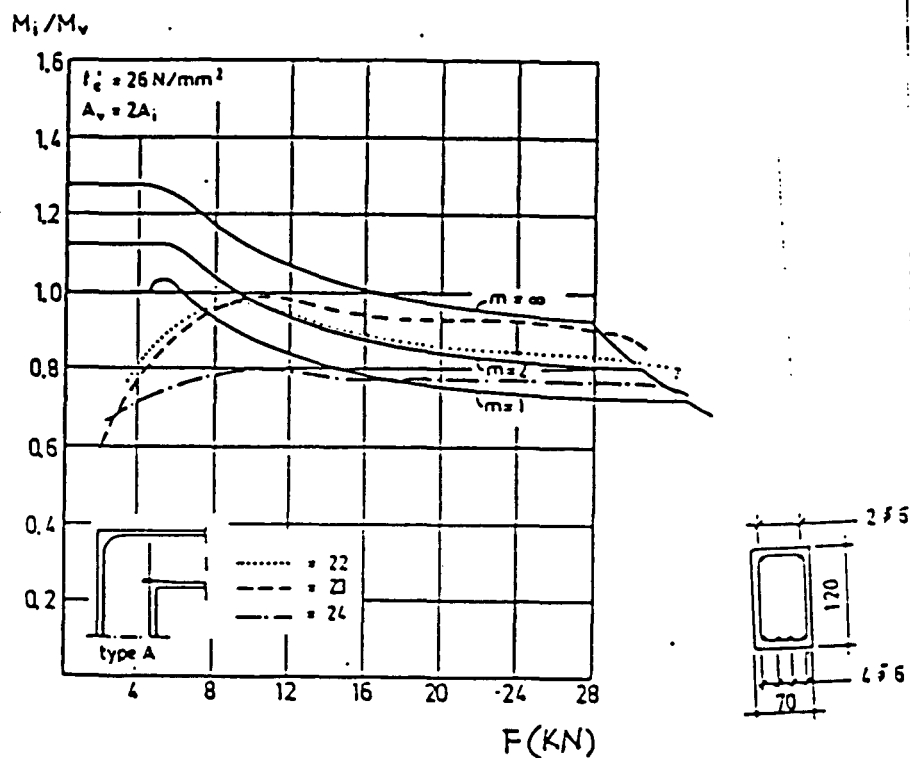


Bild 1.33: Momentenverteilung der Versuchsbalken von Stroband/Kolpa in Abhängigkeit vom Belastungsgrad ( $A_{s \text{ Feld}} = 2 \cdot A_{s \text{ Eck}}$ )  
 $M_i$  = Anschnittsmoment,  $M_v$  = Feldmoment

Bei den Versuchskörpern mit doppelter Feldbewehrung (4 u 6 mm) ist ein gegenüber den Portalrahmen mit einfacher Feldbewehrung (2 u 6 mm) unterschiedliches Verhalten festzustellen. Dies ist auf die größere Biegestei-

figkeit des Feldbereichs im gerissenen Stadium zurückzuführen. Nach der Rißbildung in der Ecke oder im Eckbereich nimmt das Verhältnis  $M_E/M_F$  ab. Diese Abnahme steigert sich mit weiterer Rißbildung bis zum Erreichen des Fließmoments im Eckbereich. Danach bildet sich hier ein Fließgelenk aus, und die Verformungsfähigkeit dieses Gelenks bestimmt den anschließenden Momentenverlauf.

Bild 1.33 zeigt dabei folgendes: Die Versuchskörper mit  $\beta_w = 26 \text{ N/mm}^2$  erreichen fast ausnahmslos eine Traglast von  $F = 30 \text{ kN}$ . Der Eckmomentenabbau beträgt im Fließzustand etwa 20 %. Dies zeigt eine gegenüber den Balkentragwerken verminderte Rotationsfähigkeit der Rahmenecke auf und bestätigt die vorhergehenden Überlegungen.

Aus diesen Untersuchungen ergibt sich, daß die Rotationsfähigkeit von Rahmenecken mit negativer Momentenbeanspruchung deutlich geringer als vergleichbare Bereiche von Balkentragwerken sind. Bei statisch unbestimmten Rahmentragwerken ist deshalb eine Umverteilung der Momente, genügende Lastkapazität vorausgesetzt, in Richtung Vergrößerung des Verhältnisses  $M_E/M_F$  verhältnismäßig einfach zu erreichen. Der umgekehrte Weg scheitert jedoch oft an der mangelnden Rotationsfähigkeit der Rahmenecken und ist vor allem bei höheren mechanischen Bewehrungsgraden nur durch Anordnung von Zusatzbewehrung möglich.

### 1.5.3 Verformungsverhalten von Rahmenecken mit positivem Moment

Versuche an statisch unbestimmten Rahmentragwerken mit Rahmenecken unter positiver Momentenbeanspruchung konnten in der Literatur nicht aufgefunden werden. Hier kann jedoch aus den gemessenen Winkeländerungen der Versuche an Ecken von Stroband/Kolpa [6] auf die Rotationsfähigkeit geschlossen werden. Die Winkelveränderungen dieser statisch bestimmt gelagerten Versuchskörper sind für Gebrauchslast-Beanspruchung in Bild 1.6a und für den Bruchzustand in Bild 1.6b dargestellt.

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, daß die Rotationsfähigkeit von Rahmenecken mit positiver Momentenbeanspruchung wesentlich von der Anordnung einer Schrägbewehrung abhängen. Rahmenecken mit Schrägbewehrung besitzen



fast keine Rotationsfähigkeit. Wie Bild 1.6b zeigt, beträgt diese im Bruchzustand nur rd. 1,5 ‰ rad. Demgegenüber liegt diejenige von Rahmenecken ohne Schrägbewehrung im Mittel bei 6 ‰ rad. Dieser Wert ist etwa 25 % geringer als derjenige von Rahmenecken mit negativer Momentenbeanspruchung und zeigt ein wesentlich spröderes Verhalten dieses Rahmeneckentyps an.

Dies bedeutet, daß die Möglichkeiten zur Momentenumverteilung bei positivem Eckmoment von der Rahmenecke zum Feldmoment hin bei statisch unbestimmten Rahmentragwerken verhältnismäßig gering ist.

Die Versuche zeigen außerdem, daß die Anordnung von Schrägbewehrung nur bei statisch bestimmt gelagerten Rahmenecken unter positivem Moment uneingeschränkt zu empfehlen ist. Bei statisch unbestimmten Tragwerken ist die Einschränkung der Verformungsfähigkeit durch diese Zusatzabewehrung zu beachten.

#### 1.5.4 Rahmenendknoten

Über das Rotationsvermögen von Rahmenendknoten lagen fast keine gezielten Untersuchungen vor. Zu erwähnen sind die Versuche von Ernst [18] aus 1957 an Rahmeninnenknoten. Hierbei wurden 33 Rahmeninnenknoten untersucht. Es ergab sich, daß die plastische Rotationsfähigkeit sehr stark vom Bewehrungsgrad und der Stützennormalkraft abhängt. Bis zu einem Bewehrungsgrad von 1 % der Riegel lag ausreichende Rotationsfähigkeit vor. Diese sinkt jedoch von diesem Zeitpunkt an rasch ab und ist bei Riegeln mit einem Bewehrungsgrad von 5 % und großer Stützennormalkraft vernachlässigbar klein. Zu beachten ist, daß die damals verwendeten Betonstähle eine Fließgrenze zwischen 250 und 300 N/mm<sup>2</sup> besaßen. Die Betongüte entsprach einem B 15 bis B 25.

Stroband/Hoekstra [19] zeigen Versuchsergebnisse an einem Rahmenendknoten, die gute Übereinstimmung mit rechnerischen Untersuchungen aufweisen (Bild 1.34).

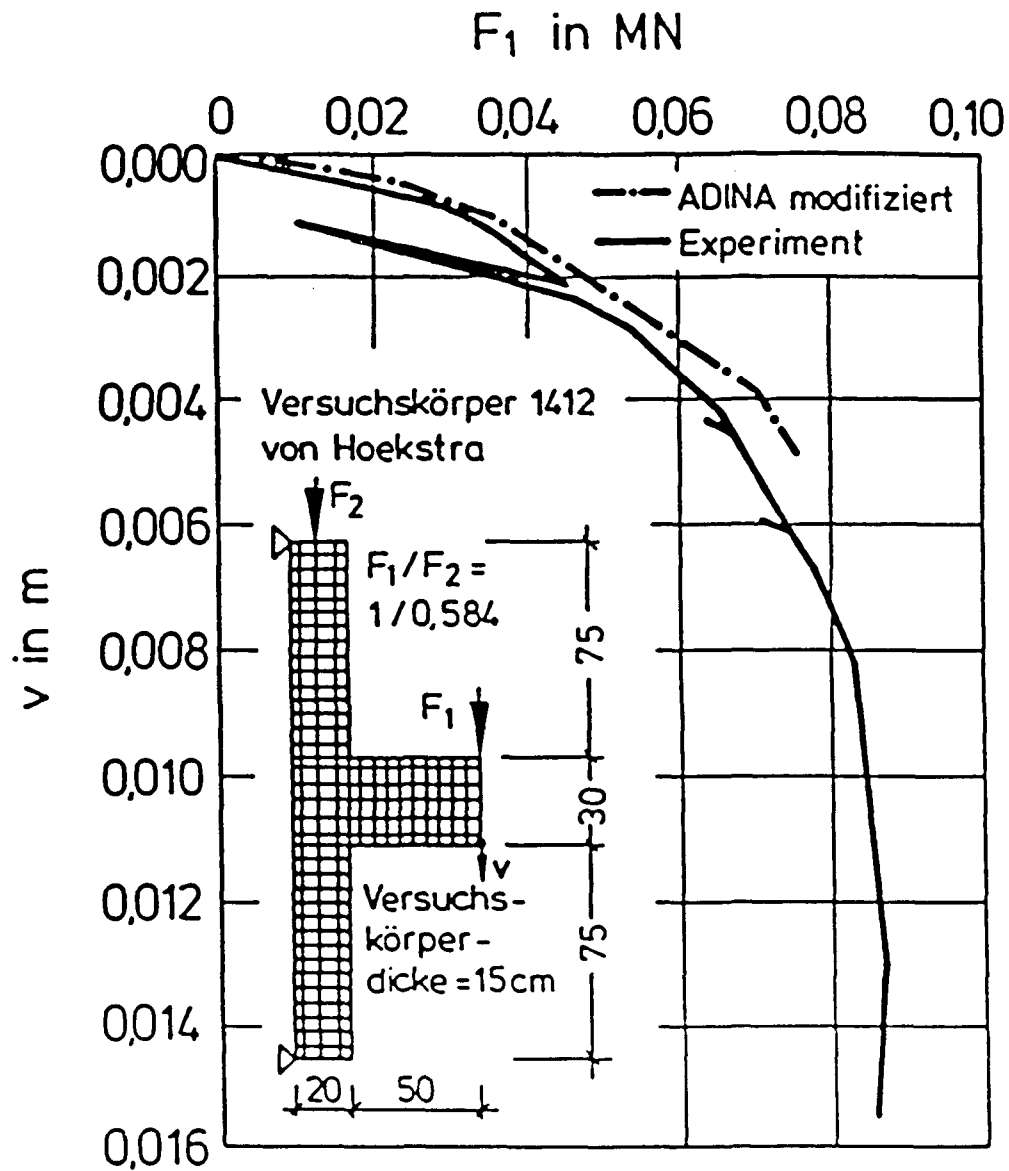


Bild 1.34: Vergleich der experimentellen mit der theoretischen Riegelverformung (Durchbiegung  $v$ ) eines Rahmenknotens [19]

## 1.6 Zusammenfassung

Der vorliegende Berichtsteil 1 stellt eine verkürzte Fassung eines umfangreichen Zwischenberichtes [5] dar, in welchem das Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenecken und -knoten aufgrund der in der Literatur vorhandenen Versuchsberichte beschrieben wurde. Die experimentellen Untersuchungsergebnisse wurden systematisch ausgewertet, normiert und mit Hilfe eines weiterentwickelten FEM-Programms ADINA nachgerechnet (Anhang). Diese Ergebnisse waren Voraussetzung für eine systematische Überprüfung der Trag- und Verformungsfähigkeit dieser Rahmenbereiche. Dabei zeigte sich, daß bei den meisten Untersuchungen Ribbildung und Verformungsfähigkeit sowie das Verhalten im Gebrauchszustand unzureichend erfaßt worden waren. Auch verwendeten nahezu alle Versuchsarbeiten BSt 420/500, nur ein kleiner Teil der Versuchsberichte bezieht sich auf Versuchskörper mit BSt 500/550 oder noch höheren Stahlfestigkeiten.

Es zeigte sich, daß vor allem bei hochbewehrten Rahmenecken unter positiver Momentenbeanspruchung erhebliche Tragfähigkeitseinbußen auftreten können, die durch ungeeignete Bewehrungsführung und die begrenzte Tragfähigkeit der Druckstrebe in der Rahmenecke verursacht werden. Die Vorteile einer schlaufenartigen Bewehrungsführung im Rahmen-Eckbereich in Verbindung mit einer Schrägbewehrung wurden erst in den letzten 20 Jahren [1, 2] erkannt. Die konsequente Verwendung von Schrägstäben stößt jedoch bei beengten Platzverhältnissen auf Schwierigkeiten, weswegen Auswege - etwa in Form von Zulagen zur Biegebewehrung - zu suchen waren.

In weiteren Untersuchungen wurde festgestellt, daß in den nationalen Bemessungsvorschriften zwischen den verschiedenen Bemessungsverfahren und Konstruktionshilfen Uneinheitlichkeit besteht, deren theoretischer Hintergrund nicht offengelegt wird. Lückenhaft sind auch Angaben über mögliche Momentenumverteilungen in statisch unbestimmten Systemen unter Einbeziehung des Verformungsverhaltens von Rahmenecken und -knoten bzw. der Biegesteifigkeit der Stiele und Riegel.

**Trag- und Verformungsverhalten  
von Rahmenknoten**

**2. Teil**

**Ergänzungsversuche  
gefördert durch die  
Deutsche Forschungsgemeinschaft  
(Ko 204/37-2)**

**März 1995**

## 2. Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten

### 2.1 Untersuchungsziele des Ergänzungsvorhabens

1989 bewilligte die Deutsche Forschungsgemeinschaft eine Sachbeihilfe für ein Ergänzungsvorhaben unter Ko 204/37 mit dem Kurztitel

#### Verformungsverhalten von Rahmenknoten.

Mit diesen Untersuchungen sollen die Grundlagen für die Anwendung des Traglastverfahrens im Massivbau erweitert werden. Wesentliches Ziel ist es daher, die Grenzen der plastischen Verformbarkeit von Rahmenecken und -knoten unter baupraktischen Gegebenheiten und praxisüblichen Bewehrungsführungen experimentell zu überprüfen. Die bisher in der Literatur vorhandenen und auch die eigenen vor 1984 durchgeführten experimentellen Untersuchungen [2] verwendeten weit überwiegend BSt 420/500 und nur zu einem sehr kleinen Teil Betonstähle der Güte BSt 500/550 oder noch höheren Güten [1]. Bei den meisten Versuchen fand die Verformungsfähigkeit und das Verhalten im Gebrauchszustand zu wenig Aufmerksamkeit. Deshalb sollte im Rahmen der nun geplanten Ergänzungsversuche vor allem die Verformungsfähigkeit von Rahmenecken und -knoten unter Verwendung von BSt 500/550 aufgezeigt werden. Des weiteren soll durch Messung der Rißbreiten und -abstände sowie der Verformungen (Winkeländerungen) während der einzelnen Belastungsstufen beurteilt werden, ob auch ein einwandfreies Verhalten der Bauteile im Gebrauchszustand gewährleistet ist. Von Bedeutung war dabei, ob im Bereich positiver Momente Schrägstäbe durch Zulagen zu den Hauptzugbewehrungen ersetzt werden können.

Leider konnten die ursprünglich beantragten Mittel nicht in vollem Umfange gewährt werden, weswegen im Ergänzungsvorhaben nur wenige ausgewählte experimentelle Untersuchungen vorgenommen werden konnten. Durch eine Schwellbeanspruchung mit etwa 10.000 Lastspielen zwischen 50 und 110 % der Gebrauchslast wurden die Auswirkungen langer Gebrauchsdauer simuliert. Auch die Auswirkungen ermüdender Beanspruchungen sollten exemplarisch studiert werden, um eine Aussage darüber zu erhalten, ob bei Verwendung von BSt 500/550 vom bisherigen Erfahrungsbereich abweichende Erscheinungen zu erwarten sind. Leider konnten diese letztgenannten Untersuchungsteile aus Finanzierungsgründen nicht durchgeführt werden.

Durch die Messung der Rißbreiten sowie der Verformungen sollte während der einzelnen Belastungsstufen beurteilt werden, ob hinreichende Dauerhaftigkeit und Korrosionsschutz der Bauteile insbesondere im Gebrauchszustand gewährleistet ist.

## 2.2 Arbeitsprogramm

Es wurden sechs Versuche an Rahmen zur Untersuchung insbesondere der Rahmenecken bzw. Rahmenendknoten durchgeführt (VR1 - VR6). Die äußeren Abmessungen und Einzelheiten der Bewehrungsführung sind in den Anlagen 1 - 6 ersichtlich. Die Bewehrungsführung in den Ecken und Knoten wurde variiert. Die Querschnittsdicke betrug einheitlich 250 mm.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden Versuchskörper mit statisch unbestimmter Lagerung, die jeweils drei maximale Momenten- und damit drei Rotationsbereiche aufweisen, untersucht. Die Rotationsbereiche I und III wurden zum einen unter Verwendung herkömmlicher schlaufenartiger Stöße in Verbindung mit Schrägstäben und Steckbügeln und zum anderen nur mit schlaufenartigen Stößen und Steckbügeln, jedoch ohne Schrägstäbe, bewehrt. Bei einigen Versuchsrahmen wurde eine Arbeitsfuge im Beton in UK Riegel simuliert.

Durch Gegenüberstellung der experimentell ermittelten Rotationsfähigkeiten der Knotenbereiche soll überprüft werden, ob die ermittelte Drehfähigkeit im Knotenbereich als Voraussetzung der vollen plastischen Grenztragfähigkeit nach der Fließgelenktheorie ausreicht bzw. ob einer unbegrenzten Anwendung des Traglastverfahrens im Massivbau auch hier Grenzen gesetzt sind.

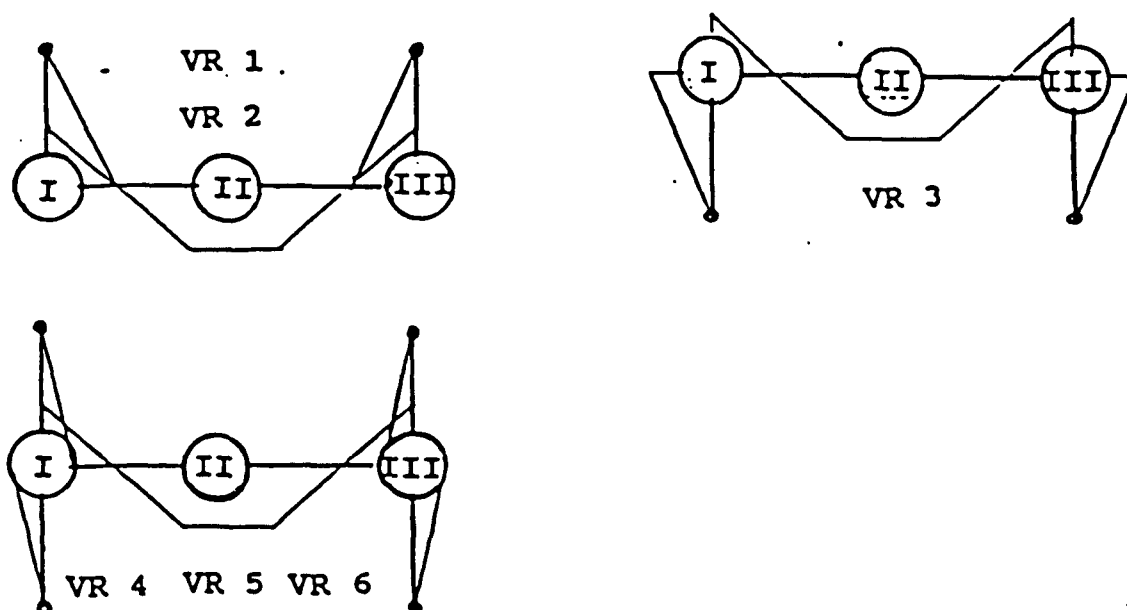


Bild 2.1: Rotationsbereiche

## 2.3 Abmessungen, Einbau und Belastungsanordnung

### Versuchskörper VR I, VR II - Rahmen mit positivem Eckmoment

Die Versuchskörper wurden an den Stielenden in der Stabachse aufgehängt. Die Aufhängung am Stielende ermöglichte eine freie Verdrehung. Die Lasteintragung erfolgte vertikal auf den Riegel durch 2 x 500 kN-Pressen (Amsler). Die beiden Versuchskörper unterscheiden sich durch die Höhe der Bewehrungsgrade: VR I ist wesentlich schwächer bewehrt als VR II.

Die horizontale Unverschieblichkeit der Stielenden bzw. des Riegels wurde durch die Aussteifungsvorrichtungen I und II erreicht. Zwischen Stiel und Aussteifungsvorrichtung I wurde ein Kraftaufnehmer U1 für Druckkräfte mit einer Nennlast von 200 kN eingefügt.

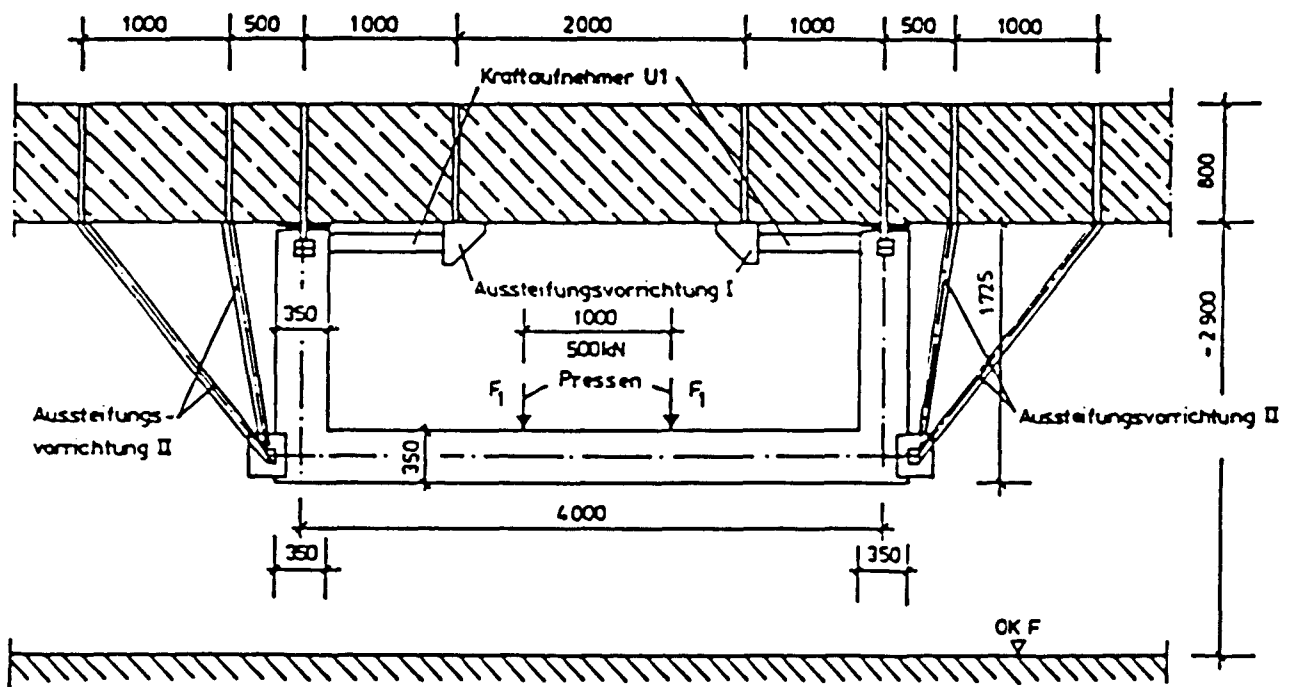


Bild 2.2: Versuchsrahmen VR I und II, positives Eckmoment





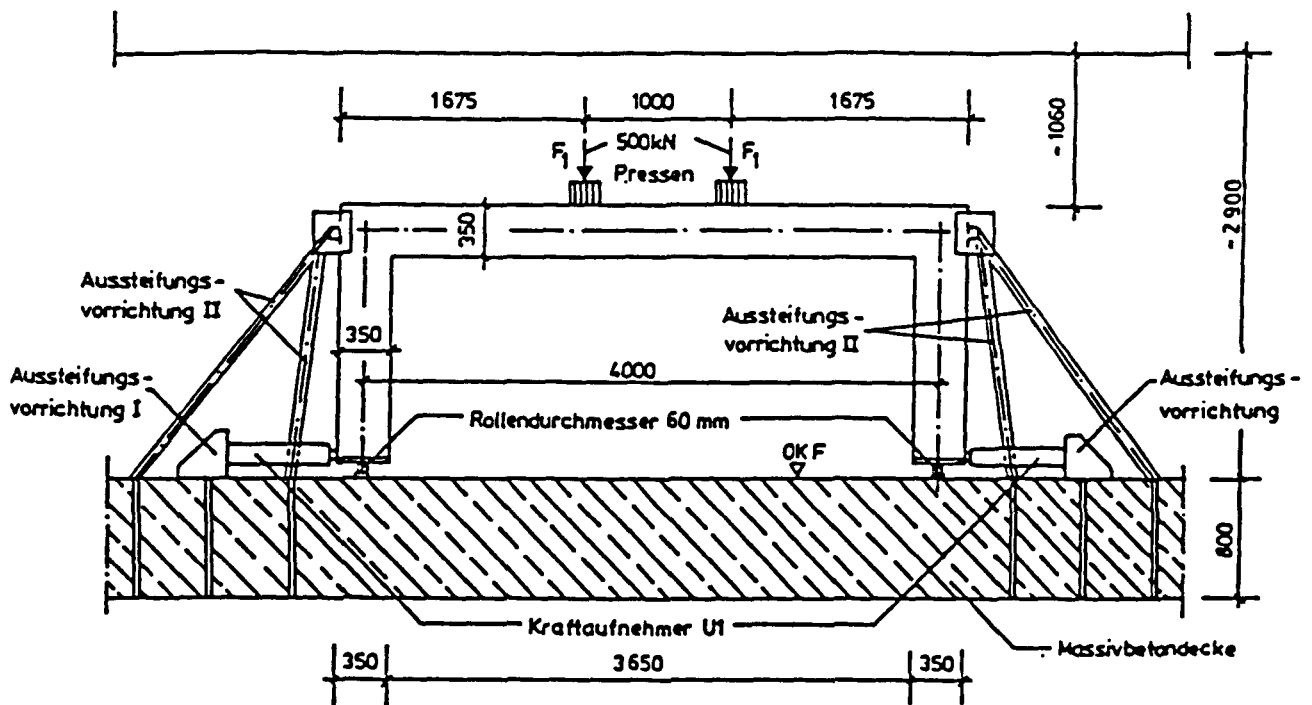


Bild 2.3: Versuchssrahmen VR III, negatives Eckmoment

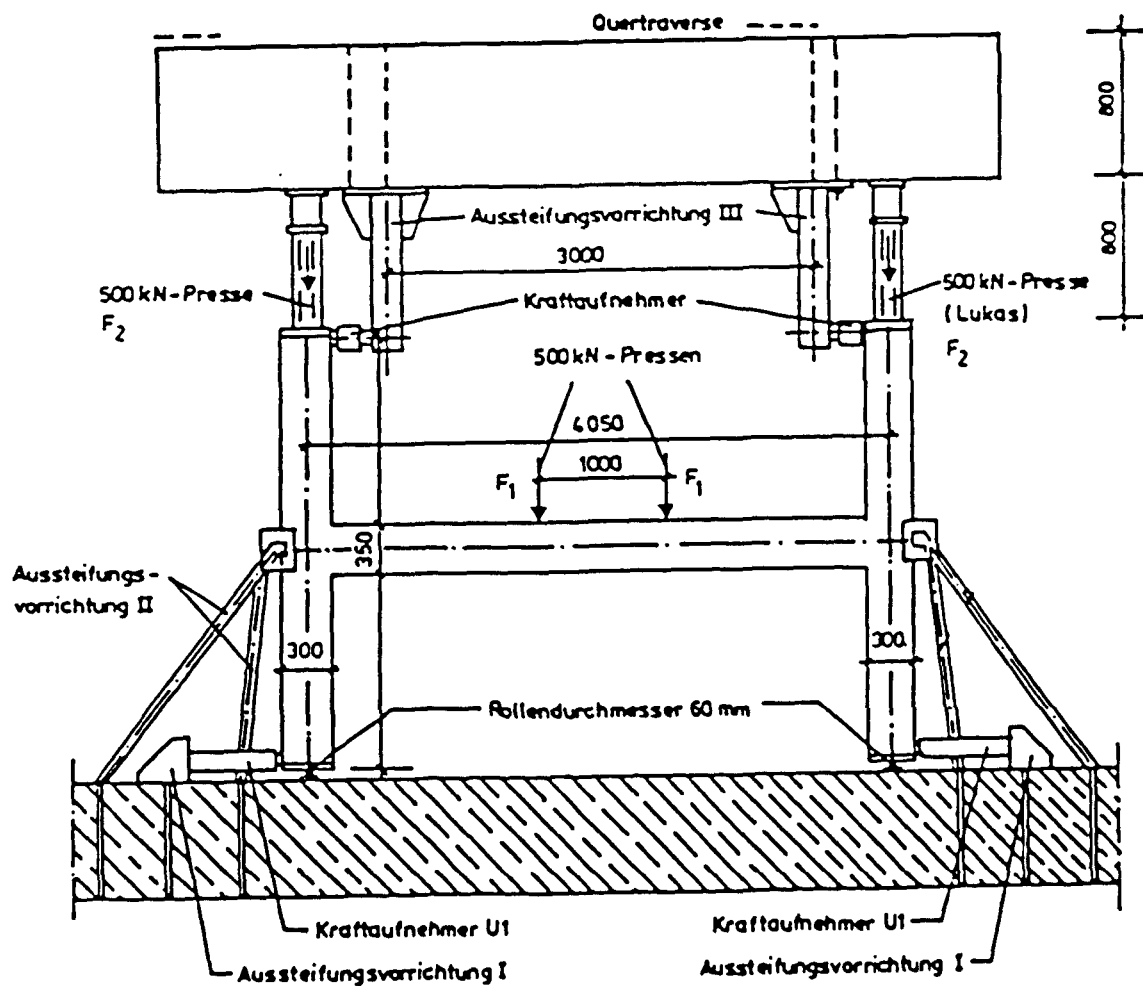


Bild 2.4: Versuchssrahmen VR IV - VI, Endknoten

## 2.4 Laststufen und Messungen

Die Belastung wurde in einzelnen Stufen von etwa  $1/20$  der theoretischen Bruchlast aufgebracht. Um den Einfluß wiederholter Be- und Entlastungen bzw. von Dauerlasten auf das Verformungs- und Risseverhalten der Versuchskörper zu untersuchen, wurde eine Schwellbelastung mit etwa  $10^5$  Lastspielen eingeschaltet, wobei i.a. die Untergrenze bei 0,5- und die Obergrenze bei 1,1facher Gebrauchslast gewählt wurde.

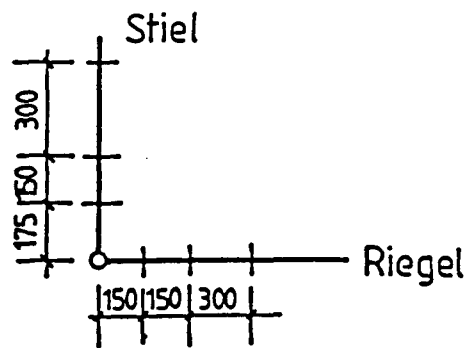
Bei jeder Laststufe sowie vor und nach der Schwellbelastung wurden folgende Messungen mit zugehörigen Meßwertaufnehmern durchgeführt:

- Stahldehnungen mit aufgeklebten Dehnmeßstreifen, Meßgitterlänge 3 mm
- Betonstauchungen mit Dehnmeßstreifen, Meßgitterlänge 60 mm
- Biegelinien der Riegel und Stiele, gemessen mit induktiven Wegaufnehmern unterschiedlicher Meßlänge
- horizontale Auflagerkräfte, gemessen mit Kraftaufnehmer U1 für Druckkräfte mit einer Nennlast bis 200 kN
- Rißverteilung
- Rißbreiten

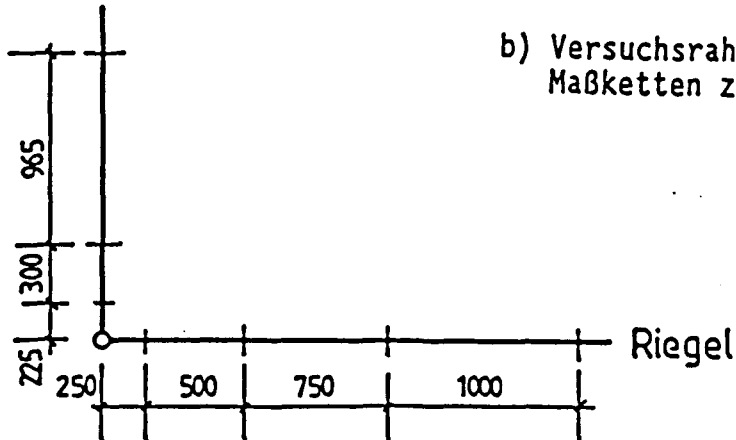
Die Meßwerte wurden mit Hilfe einer Vielstellenmeßanlage erfaßt. Mit Eintritt plastischer Formänderungen wurde die Lasteintragung von Laststeuerung auf Wegsteuerung umgestellt. Die Rißbeobachtungen erfolgten auf festgelegten Rasterlinien entlang der Längsbewehrungslagen, in drei weiteren Höhenlagen sowie an den Zugrändern der Querschnitte.

Zusätzlich wurden Messungen der Betondehnungen in den Knotenbereichen durchgeführt, um deren Winkeltreue zu prüfen (siehe Bilder 2.5d und 2.6c):

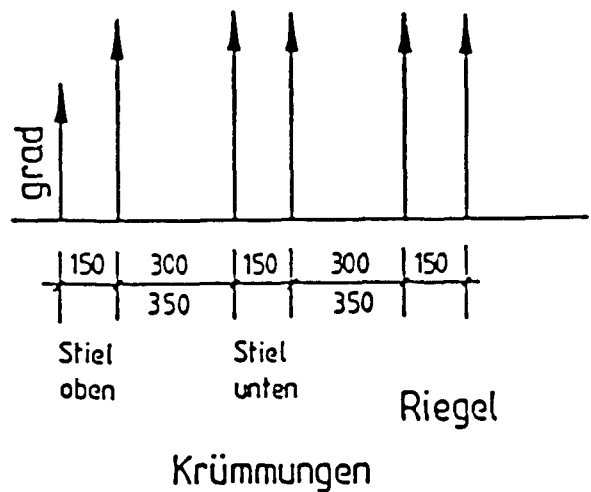
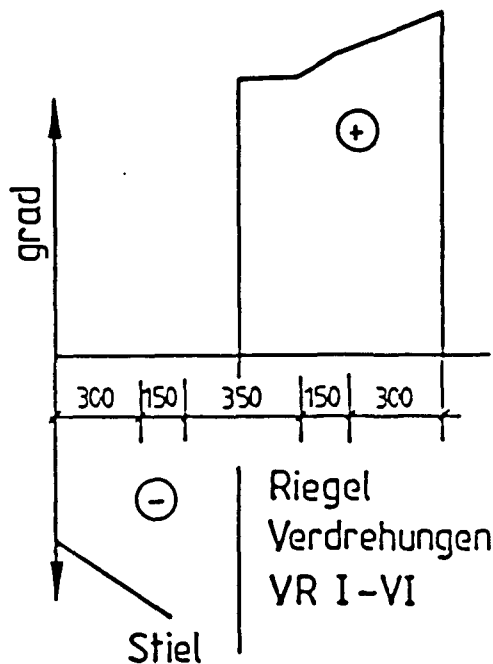
Die Lage der einzelnen Meßstellen wird nachfolgend dargestellt. Die Meßwerte wurden überwiegend in Form von Diagrammen zusammengefaßt und hier bzw. im Anhang wiedergegeben.



- a) Versuchsrahmen I bis III  
Maßketten im Riegelanschnitt links/rechts  
Biegelinie im Knotenbereich



- b) Versuchsrahmen I bis III  
Maßketten zur Biegelinie des Gesamtrahmens



- d) Versuchsrahmen I bis III  
Meßstellenplan zur Winkeländerung im Knotenbereich

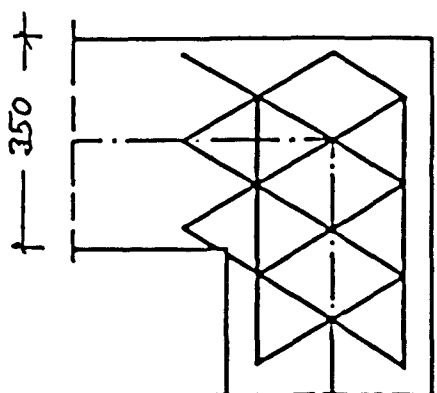
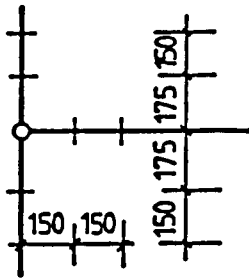
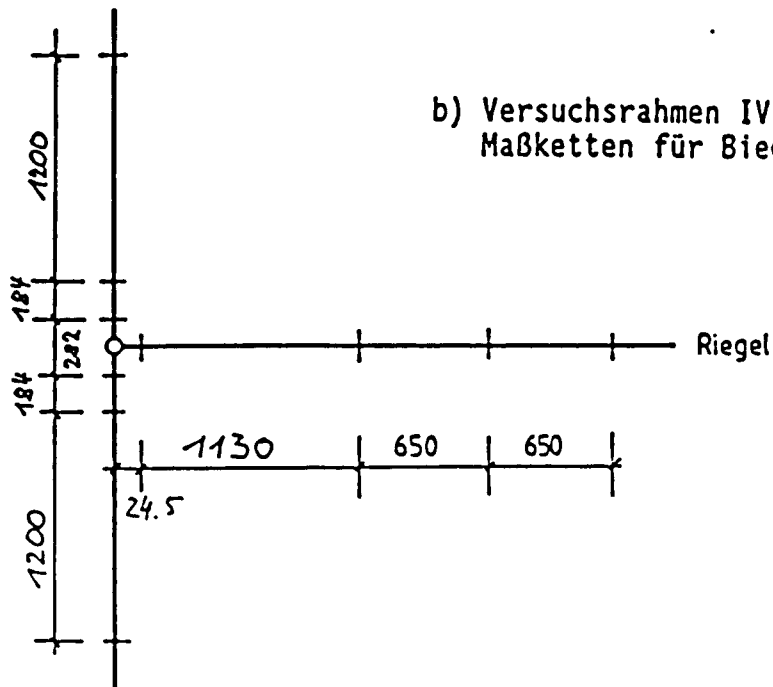


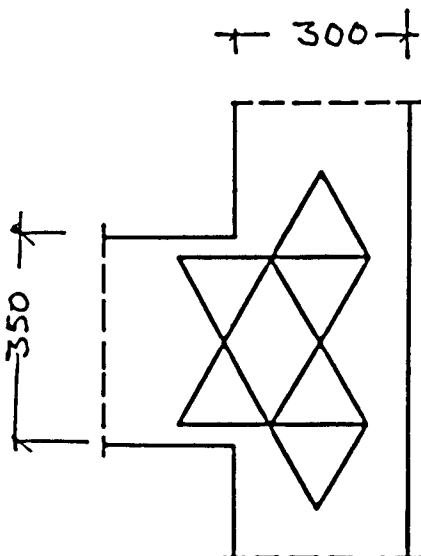
Bild 2.5 a,b,c,d: Meßstellenanordnung



- a) Versuchsrahmen IV bis VI  
Maßketten im Riegelanschnitt links/rechts  
Biegelinie im Knotenbereich



- b) Versuchsrahmen IV bis VI  
Maßketten für Biegelinie des Gesamtrahmens



- c) Versuchsrahmen IV bis VI  
Meßstellenplan zur Winkeländerung  
im Knotenbereich

Bild 2.6 a,b,c: Meßstellenanordnung

## 2.5 Baustoffe und Herstellung der Versuchskörper

Für alle Versuchskörper wurde Portlandzement PZ 35 F (Teutonia) verwendet. Die Zuschlagstoffe (Oker- und Weserkies) wurden nach Korngruppen getrennt zugegeben. Die maximale Korngröße betrug 16 mm.

Zusammen mit den Versuchskörpern wurde eine Anzahl von Probewürfeln ( $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ ), Balken ( $15 \times 15 \times 70 \text{ cm}^3$ ) und Zylindern ( $\phi 15 \text{ cm}$ ,  $h = 35 \text{ cm}$ ) hergestellt, die gleichzeitig mit den Versuchskörpern geprüft wurden. Die Normdruckfestigkeit des Betons wurde nach DIN 1048 bestimmt. Der Tabelle 1 sind die Betonzusammensetzung sowie die gemessenen Frisch- und Festbetoneigenschaften zu entnehmen. Bei allen sechs Versuchskörpern wurde Betonrippenstahl BSt 500/550 (IV S, IV KR) verwendet. Die in Zugversuchen ermittelten Festigkeitseigenschaften der Stähle sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Versuchskörper wurden liegend betoniert. Als Schalung wurden Betoplanplatten verwendet. Die Betonüberdeckung, bezogen auf Bügelaußenkante, betrug bei allen Versuchskörpern 20 mm.

Die Betonverdichtung erfolgte bei allen Versuchskörpern durch Innenrüttler. Nach drei Tagen wurden die Körper ausgeschalt, bis zum 7. Tag unter feuchten Tüchern und anschließend bis zur Prüfung in der Prüfhalle bei Raumtemperatur gelagert.

Die Betongüte zum Versuchszeitpunkt (Alter 30 bis 45 Tage) schwankte zwischen  $R_p$  38,7 bis 45,1 N/mm<sup>2</sup> und betrug i.M.  $R_p = 40 \text{ N/mm}^2$  mit einem E-Modul von etwa  $26 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$  und einer Biegezugfestigkeit von etwa 3,60 N/mm<sup>2</sup>.

Die Stahlfließgrenze der Bügelbewehrungen lag i.M. bei 600 N/mm<sup>2</sup>, jene der Längsbewehrungsstäbe bei den Versuchen VR1 - VR3 von 500 - 570 N/mm<sup>2</sup>, bei den Versuchen VR4 - VR6 von 550 bis 600 N/mm<sup>2</sup>. Die Gleichmaßdehnung betrug  $\geq 8 \text{ \textcent}$ .

Tabelle 1 Betoneigenschaften

Versuch	Baustoffe/m <sup>3</sup> Beton in kg			W/Z- Wert	Frisch- beton- roh- dichte (kg/dm <sup>3</sup> )	Aus- breit- maß (cm)	Alter bei Versuchs- durchfüh- rung (tg)	Würfel- druck- festig- keit 15/15/15 28 tg (N/mm <sup>2</sup> )	Würfel- druck- festig- keit 15/15/15 [VD]* (N/mm <sup>2</sup> )	Zylinder- druck- festig- keit [VD]* (N/mm <sup>2</sup> )	Biege- zug- festig- keit [VD]* (N/mm <sup>2</sup> )	Zylinder- spaltzug- festig- keit [VD]* (N/mm <sup>2</sup> )	E-Modul [VD]* (N/mm <sup>2</sup> )
	Zement	Zuschl. stoffe	Wasser										
VR1	350	1850	194	0,55	2,35	40	43	46,6 49,8 47,4 <u>47,9</u>	50,0 48,1 50,1 <u>49,4</u>	39,2 40,8  <u>40,0</u>	3,89 4,01 3,71 <u>3,87</u>	2,85 2,80 2,70 3,16 2,92 2,79 <u>2,87</u>	27,6*10 <sup>3</sup>
VR2	350	1850	194	0,55	2,34	41	50	43,0 41,7 45,3 <u>43,3</u>	49,9 47,3 50,2 <u>49,1</u>	38,6 42,4  <u>40,5</u>	3,43 3,39 3,40 <u>3,41</u>	3,21 3,40 3,41 3,09 3,44 3,14 <u>3,28</u>	27,9*10 <sup>3</sup>
VR3	350	1850	194	0,55	2,38	36	54	55,3 53,4 52,0 <u>53,6</u>	57,1 56,6 55,8 <u>56,5</u>	45,0 45,2  <u>45,1</u>	4,07 3,92 3,96 <u>3,98</u>	3,51 3,50 3,87 4,01 3,67 3,84 <u>3,73</u>	28,9*10 <sup>3</sup>
VR4	350	1850	194	0,55	2,38	38	35	53,0 50,9 52,8 <u>52,2</u>	46,8 46,4 50,4 <u>47,9</u>	38,9 39,5 45,6 <u>41,3</u>	3,22 3,63 3,61 <u>3,49</u>	—	27,5*10 <sup>3</sup>
VR5	350	1850	194	0,55	2,39	41	47	—	47,9 50,6 52,1 <u>50,2</u>	41,9 41,5 43,8 <u>42,4</u>	3,27 2,90 3,15 <u>3,11</u>	—	26,5*10 <sup>3</sup>
VR6	350	1850	194	0,55	2,40	37	30	52,5 57,4 52,0 <u>55,6</u>	50,6 55,1 52,8 <u>52,8</u>	37,1 38,9 40,1 <u>38,7</u>	3,41 3,49 3,74 <u>3,55</u>	3,87 4,24 3,85 3,90 3,64 4,02 <u>3,92</u>	22,9*10 <sup>3</sup>

\*) VD = Versuchstag

Tabelle 2 Stahleigenschaften

Ver- such	Ø Soll (mm)	Ø Ist (mm)	Fläche Ist (mm <sup>2</sup> )	Streck- grenze bezogen Ist-Ø (N/mm <sup>2</sup> )	Zug- festig- keit bezogen Ist-Ø (N/mm <sup>2</sup> )	Bruch- deh- nung (%)	Gleich- maß- deh- nung (%)
VR1 VR2 VR3	6,0	5,84	26,73	624	649	8,0	5,30
		5,86	26,96	612	632	8,0	4,70
		6,00	28,29	634	665	8,3	4,90
			<u>27,33</u>	<u>623</u>	<u>649</u>	<u>8,1</u>	<u>4,97</u>
	8,0	7,98	49,96	570	685	22,5	15,00
		8,06	51,01	557	619	17,5	10,00
		7,95	49,61	579	687	22,5	12,50
			<u>50,19</u>	<u>569</u>	<u>664</u>	<u>20,8</u>	<u>12,50</u>
	12,0	11,97	112,50	511	681	19,2	10,80
		11,92	111,60	513	680	18,3	10,00
		11,99	112,80	521	684	16,7	10,00
			<u>112,30</u>	<u>515</u>	<u>682</u>	<u>18,0</u>	<u>10,30</u>
VR4	6,0	6,00	28,31	622	692	16,7	8,33
		6,00	28,26	534	609	20,5	9,17
		6,00	28,31	540	608	19,5	8,33
			<u>28,29</u>	<u>565</u>	<u>636</u>	<u>18,9</u>	<u>8,61</u>
	8,0	7,95	49,59	585	661	14,1	7,50
		7,96	49,69	564	636	14,6	7,50
		7,96	49,69	580	680	14,8	10,63
			<u>49,66</u>	<u>576</u>	<u>659</u>	<u>14,5</u>	<u>8,54</u>
	10,0	9,88	76,64	570	664	15,3	12,00
		9,88	76,64	578	669	16,2	10,00
		9,88	76,64	577	672	16,0	10,30
			<u>76,64</u>	<u>575</u>	<u>668</u>	<u>15,8</u>	<u>10,77</u>
	12,0	11,95	112,03	583	709	14,4	7,50
		11,92	111,45	602	721	15,2	9,17
		11,95	112,09	604	725	14,8	8,50
		11,94	<u>111,86</u>	<u>596</u>	<u>718</u>	<u>14,8</u>	<u>8,39</u>
VR5 VR6	8,0	7,94	49,53	581	670	13,5	8,00
		7,96	49,68	576	658	13,8	7,88
		7,96	49,68	582	668	13,8	9,75
			<u>49,63</u>	<u>580</u>	<u>665</u>	<u>13,7</u>	<u>8,54</u>
	10,0	9,98	78,15	532	623	17,3	11,20
		10,00	78,43	534	629	17,6	11,00
		9,96	77,87	519	618	15,3	8,50
			<u>78,15</u>	<u>528</u>	<u>623</u>	<u>16,7</u>	<u>10,23</u>
	12,0	11,96	112,26	603	719	15,0	9,30
		11,97	112,49	608	726	13,2	7,33
		11,93	111,72	607	724	15,0	8,33
			<u>112,16</u>	<u>606</u>	<u>723</u>	<u>14,4</u>	<u>8,32</u>
VR6	16,0	15,78	195,50	529	643	18,8	10,81
		15,80	195,86	521	634	19,1	12,50
		15,80	195,86	558	641	17,5	10,13
			<u>195,74</u>	<u>536</u>	<u>639</u>	<u>18,5</u>	<u>11,15</u>
VR2 VR3 VR5	20,0	19,67	304,30	600	704	14,6	9,50
		19,69	304,45	591	698	12,3	8,25
		19,69	304,19	588	690	13,1	10,25
			<u>304,31</u>	<u>593</u>	<u>697</u>	<u>13,3</u>	<u>9,33</u>

Bild 2.7b

## 2.6 Maßgebende Schnittgrößen

Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen den rechnerischen Bruchschnittgrößen  $M_{U,R}$  und  $N_{U,R}$  und den im Versuch erzielten Werten  $M_{U,T}$  und  $N_{U,T}$  zu ermöglichen, wurden die Werte  $M_{U,R}$  und  $N_{U,R}$  aufgrund der Festigkeitswerte nach Tabelle 1 und 2 bei Annahme einer linearen Verteilung der Dehnungen im betrachteten Querschnitt ermittelt. Als Bruchquerschnitte wurden die Riegelanschnitte I und III entsprechend den Versuchszielen betrachtet. Das Eigengewicht der Versuchskörper blieb unberücksichtigt.

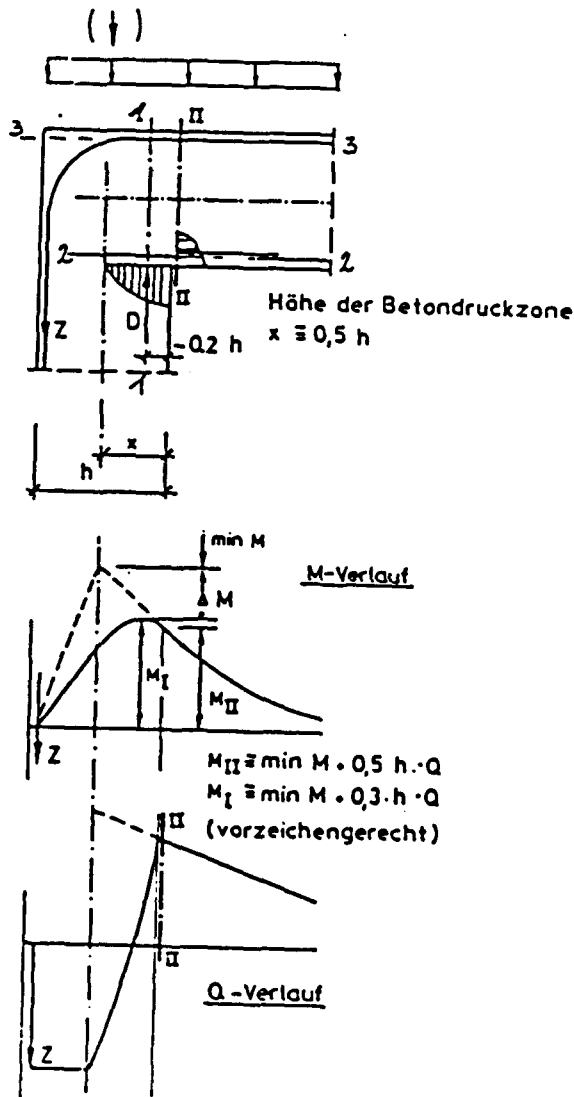
In einem weiteren Rechengang wurden die Bruchschnittgrößen  $M_{U,EC}$  und  $N_{U,EC}$  ermittelt; hierbei wurden als Festigkeitswerte  $f_{cd} = 40/1,5 = 26,7$  ( $\alpha = 1,0$ ) und  $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$  eingeführt. Die Berechnung erfolgte anhand der im Betonkalender 1993 veröffentlichten Bemessungstabellen. Als Bemessungsschnitte 1-1 in den Anschlüssen Riegel-Stütze wurden die in [2] dargelegten Überlegungen herangezogen, die in Bild 2.8 wiedergegeben sind.

Die Gebrauchsschnittgrößen (Gebrauchstauglichkeit) nach EC 2 (Service Limit State - SLS) können insofern nicht eindeutig festgelegt werden, als die Lastanteile aus Eigengewicht bzw. Nutzlast über die unterschiedlich großen Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,5$  in die Ermittlung von SLS eingehen, aber immer nur für den Einzelfall eindeutig festgelegt werden können. Als Näherungslösung bietet sich an, von einer Aufteilung 1:1 zwischen Eigengewicht und Nutzlast auszugehen und  $\gamma_m = (1,35 + 1,5)/2 = 1,43$  zu setzen. Es wird nachfolgend daher nur von einem "Bereich der Gebrauchslast" ausgegangen.

Nach EC 2, Teil 1, Abschn. 4.4.2.3 kann ein weiterer Nachweis der Gebrauchstauglichkeit unter Bezug auf die Begrenzung der Rißbreite geführt werden, wofür für Stahlbetonbauteile im allgemeinen 0,3 mm, für Spannbetonbauteile 0,2 mm genannt werden. Gemäß Tabelle 4.11 gilt als Voraussetzung der Einhaltung dieser Werte eine Stahlspannung von  $240 \text{ N/mm}^2$  bei einem Grenzdurchmesser von  $\phi 20 \text{ mm}$  und von  $320 \text{ N/mm}^2$  für  $\phi_{\text{Grenz}} = 12 \text{ mm}$ .

Die hier behandelten Versuche besaßen als Hauptbewehrung Stäbe von  $\phi 12$ ,  $\phi 16$  und  $\phi 20$ ; aus Gründen der Vereinfachung wird zur näherungsweisen





Bemessungsschnitte:

Riegel bei negativem Moment:

Schnitt 1-1, 0,2 h innerhalb des Stielquerschnitts [2]

Stielanschluß unten:

Schnitt 2-2 in Achse untere Riegelbewehrung

Stielanschluß oben:

Schnitt 3-3 in Achse obere Riegelbewehrung

Riegel bei positivem Eck-Moment: aus Sicherheitsgründen auch Schnitt 1-1!

Bild 2.8 : Bemessungsschnitte

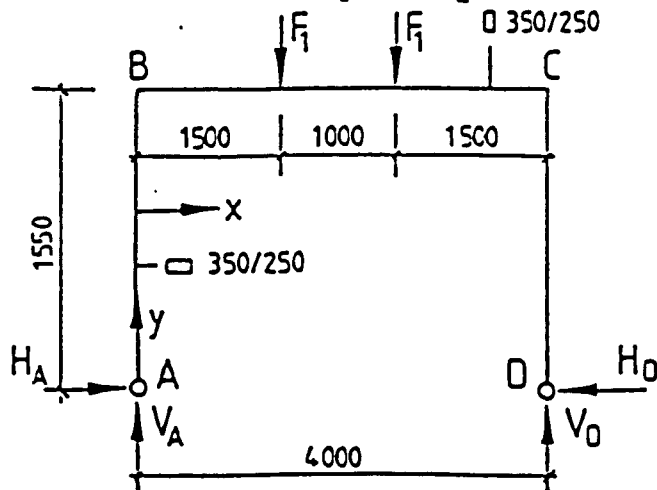
Ermittlung des Grenzzustandes der Gebrauchsfähigkeit eine Stahlspannung von  $300 \text{ N/mm}^2$  gewählt. Dieser Wert ergibt sich auch aus:

$$\sigma_{s,SLS} = 500/1,15 \cdot 1/1,43 \approx 300 \text{ N/mm}^2$$

$M_{U,EC}/1,43$  führt zu übereinstimmenden Ergebnissen.

Für den Nachweis der Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird die Elastizitätstheorie herangezogen (EC 2, Teil 2, Abschn. 2.5.3.2.1). Es wird Zustand 1 vorausgesetzt, als Betonkennwerte werden C 40 mit  $B_p = 40$  und  $f_{cd} = 40/1,5 = 26,7$ ,  $E_c = 35000 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{ctm} = 3,5 \text{ N/mm}^2$ , angenommen. Es wird vom Ebenbleiben der Querschnitte und  $n = E_s/E_c = 200/35 = 5,7$  ausgegangen.

Die Ermittlung der System-Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie für die Einzellasten  $F_1$  und  $F_2$  wird nachfolgend gezeigt.



Nach "Kleinlogel":

$$\alpha = a/l = 1500/4000 = 0.375$$

$$k = l_1/l_2 \cdot h/l = 1.0 \cdot 1550/4000 = 0.388$$

$$N = 2k + 3 = 0.775 + 3 = 3.775$$

$$M_B = M_C = -3 F_1 \cdot a (1 - \alpha)/N$$

$$M_B = M_C = -F_1 \cdot 0.745$$

$$M_x = -F_1 (x - 0.745)$$

$$\text{Schnitt 1-1: } -F_1 \cdot 0.54 \text{ (s. Bild 2.3)}$$

$$H_A = H_D = 0.48 \cdot F_1 = -M_B$$

$$M_y = -y \cdot 0.48 \cdot F_1$$

$$V_A = V_D = F_1$$

Anschnitt-Schnittgrößen:

Riegel:  $x = 175 - 0.2 \cdot 350 = 105 \text{ mm}$

$$M_x = -M_B + 0.3 \cdot 0.35 \cdot F_1 = -F_1 (0.745 - 0.105) = -F_1 \cdot 0.54$$

(Stützenrand):  $x = 175: M_x = -F_1 (0.745 - 0.175) = -F_1 \cdot 0.570$

Feld:  $x = 1500: M_x = -F_1 (1.500 - 0.745) = -F_1 \cdot 0.755$

Stiel:  $y = 1550 - 175 + 30 = 1405 \text{ mm} \quad \bar{U} = 30 \text{ mm}$

$$M_y = -1.405 \cdot 0.48 \cdot F_1 = -0.674 \cdot F_1$$

Knotenverdrehung:  $-0.0124 \cdot F_1 \text{ rad für } F_1 = 1 \text{ MN}$

"Einfaches  $c_0$ - $c_u$ -Verfahren" n. Heft 240

$$M_B = M_C = M_A = M_D = M_R^0 (c_0 - c_u) / (1 + c_0 + c_u)$$

$$c_0 = c_u = 1 \cdot l_0/l_2 \cdot h_0 =$$

$$= 4.05 \cdot 0.3^3 / (1.55 \cdot 0.35^3) = 1.54$$

$$M_R = M_R^0 \cdot 2 \cdot 1.54 / (1 + 3.29) = M_R^0 \cdot 0.757$$

$$M_R^0 = -F_1 \cdot a \cdot (1 - \alpha) \quad \alpha = a/l = 0.377$$

$$= -F_1 \cdot 0.35 \quad a = 1.525$$

$$l = 4.05$$

$$M_R = -F_1 \cdot 0.35 \cdot 0.757$$

$$= -F_1 \cdot 0.73$$

$$\text{Stielanschlussmomente } M_S$$

$$= M_R/2 = -F_1 \cdot 0.37 = M_S$$

$$H_A = H_D = H_E = H_F = M_S/1.55 = F_1 \cdot 0.235$$

$$\text{Längskräfte: oberer Stiel } V_D = F_2$$

$$\text{unterer Stiel } V_A = V_D = V_D - F_1$$

$$\text{Riegel: } N = 0 \quad = F_2 - F_1$$

$$M_F = -F_1 \cdot 0.30$$

$$\text{Rieglmoment in Schnitt 1-1: } M_x = -F_1 \cdot 0.54 \text{ (Bild 2.3)}$$

$$\text{Knotenverdrehung: } -0.0102 \cdot F_1 \text{ rad}$$

$$\text{für } F_1 = 1 \text{ MN}$$

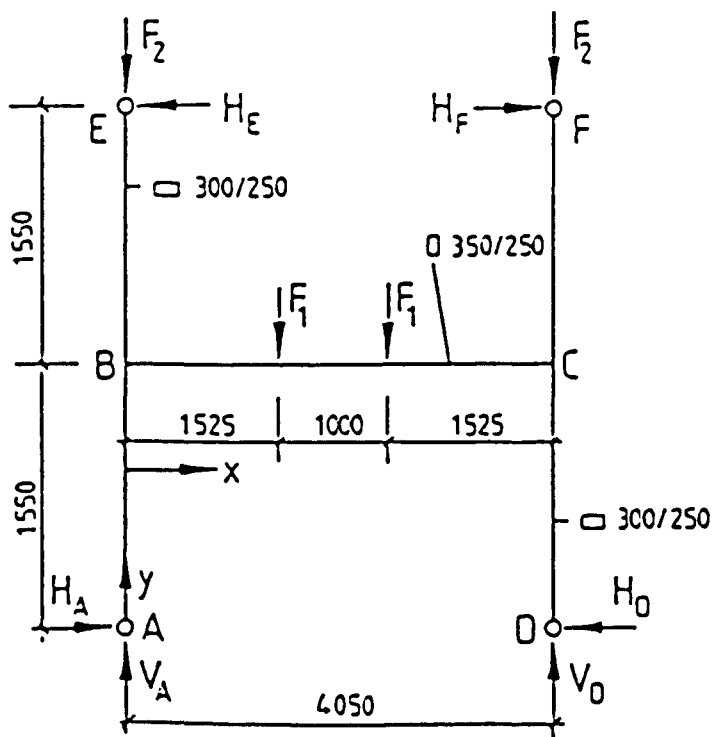


Bild 2.9: Systemschnittgrößen

## 2.7 Versuchsergebnisse

Das Verhalten des statischen Systems und die Wirksamkeit der Bewehrungsführung mit Blick auf Plastizierungseigenschaften in den Rotationsbereichen I und III wird durch Vergleich der Biegemomente, bezogen auf die Stabachsen der Versuchskörper, nachgewiesen. Die Biegemomente wurden nach gemessenen Auflagerkräften, nach gemessenen Verformungen am Betonstahl bzw. am Beton ("innere Biegemomente") und nach der Elastizitätstheorie ermittelt. Der Berechnung der inneren Biegemomente wurden die Festigkeitswerte nach Tabelle 1 und 2 zugrunde gelegt und eine lineare Verteilung der Dehnung im Querschnitt vorausgesetzt. Die nachfolgend in den einzelnen Versuchen dargestellten Momentenverläufe unter "Gebrauchslast" entsprechen annähernd den Momenten  $M_{SLs}$  in Spalte 6, bild 2.12.

Die folgende Tabelle Bild 2.12 zeigt eine Zusammenstellung der rechnerisch ermittelten Schnittgrößen der Versuchsrahmen unter Angabe der eingebauten Bewehrungsmengen und Baustoffgüten sowie - vorgreifend - auch der erzielten Versuchswerte. Der Wirkungsgrad der einzelnen Bewehrungsformen wurde nur durch Vergleich der Biegemomente am Riegelanschnitt 1-1 gemäß Bild 2.8 ermittelt (vgl. Spalten 11, 12 und 13).

Knotendrehungen  $\varphi$  und Winkeländerungen  $\Delta\varphi$  konnten aus Messungen unmittelbar entnommen werden; insbesondere zeigten die Stiele der  $\perp$ -förmigen Rahmen gegenläufige Stiel-Ausbiegungen, die unmittelbar als Drehungen  $\varphi$  oder als in sich starr angesehenen Knoten gedeutet werden konnten (Bilder 2.10 und 2.11).

Als Winkeländerung gilt im vorliegenden Bericht eine Abweichung der Stabachsen von den planmäßigen  $90^\circ$ - bzw.  $180^\circ$ -Winkeln. So zeigte sich erwartungsgemäß bei Rahmenecken unter positivem Moment eine Vergrößerung des planmäßigen  $90^\circ$ -Winkels zwischen Stiel und Riegel, bei negativem Eckmoment eine Verkleinerung. Diese Winkeländerungen betrugen unter Gebrauchslast  $0,5 \cdot 10^{-3}$  bis  $1,0 \cdot 10^{-3}$  rad.

Bei den  $\perp$ -förmigen Rahmen zeigte der Verlauf der Stielachsen einen Knick im Rahmenknoten, der als eine Verkleinerung  $\Delta\varphi_{st}$  des Sollwertes von  $180^\circ$  gedeutet wurde. Dementsprechend zeigte auch der Sollwert von  $90^\circ$  zwischen Riegel und unterem Stiel eine Verkleinerung  $\Delta\varphi_u$ . Die Winkeländerung zwischen Riegel und oberem Stiel wurde mit  $\Delta\varphi_o$  bezeichnet.

Ergänzende Unterlagen zu den einzelnen Versuchen sind in den Anlagen zusammengestellt.

Die Meßergebnisse der Knotendrehungen und Winkeländerungen werden nachfolgend zusammenfassend vorgelegt:

#### Knotendrehung nach Versuchsergebnissen

##### VR I bis VR III

Die Knotendrehungen der Versuchsrahmen VR I - VR III wurden aus den Meßwerten der Neigungswinkel der Stabachsen abgeleitet. Bei winkeltreuer Eckverbindung muß  $\varphi_1 = \varphi_2$  gelten;  $\varphi_1 \neq \varphi_2$  bedeuten Abweichungen von der Winkeltreue und wurden als "Winkeländerung"  $\Delta\varphi$  bezeichnet. Knotendrehung  $\varphi$  [rad] nach E-Theorie und Zustand I  $1,24 \cdot 10^{-3} \cdot F_1$  rad für  $F_1 = 100$  kN.

Die folgende Tabelle zeigt die Meßwerte, die im übrigen auch auf Übersichtstabellen, zugeordnet den einzelnen Versuchen, wiederkehren:

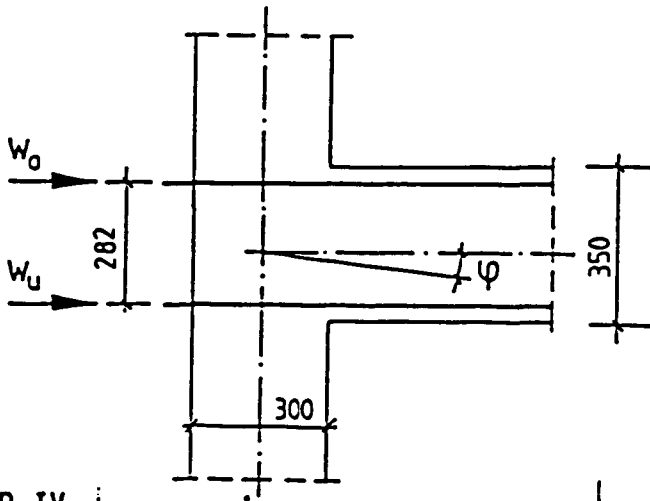
		Rotationsbereich I links rad. $\cdot 10^{-3}$		Rotationsbereich III rechts rad. $\cdot 10^{-3}$		Beginn plastischer Verformung
	$F_1$	Knoten- drehung $\varphi$	$\Delta\varphi$	Knoten- drehung $\varphi$	$\Delta\varphi$	$F_1$ (kN)
VR I			*)			
RiBlast	12	1,75	0	1,75	0,05	75
Gebrauchslast	42	2,61	0,49	3,05	0,81	
Bruchlast	96	26,1	1,72	30,5	6,62	
VR II			*)			
RiBlast	38	-1,9	0,12	-1,9	0,24	180
Gebrauchslast	114	6,58	0,88	5,68	0,99	
Bruchlast	228	17,4	2,45	19,8	4,07	
VR III						
RiBlast	56	- 1,05	- 0,10	- 1,05	- 0,10	230
Gebrauchslast	196	- 7,02	- 0,48	- 7,02	- 0,385	
Bruchlast	304	- 13,6	- 0,61	- 13,4	- 0,695	

\*) mit Schrägstab

Bild 2.10

## VR IV - VR VI

Die Knotendrehungen  $\varphi$  der Versuchsrahmen IV - VI wurden aus Feinmessungen der Verschiebungen  $W$  in Höhe der Riegelbewehrungen abgeleitet.



$$\varphi [\text{rad}] = \frac{W_u - W_0}{z}; z = 282 \text{ mm}$$

$$\varphi [\text{rad}] \text{ n. E-Theorie, Zustand I,} \\ = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot F_1 = 100 \text{ kN}$$

In den Übersichtstabellen, zugeordnet den einzelnen Versuchen, sind die Knotendrehungen sowie die Werte  $\Delta\varphi$  zu finden.

## VR IV :

$F_1$ kN	links					rechts					Beginn plastischer Verformung $F_1$ (kN)
	$W_0$ mm	$W_u$ mm	$W_u - W_0$ mm	$\varphi$ rad $\cdot 10^{-3}$	$\Delta\varphi_u$	$W_0$ mm	$W_u$ mm	$W_u - W_0$ mm	$\varphi$ rad $\cdot 10^{-3}$	$\Delta\varphi_u$	
26 <sup>1)</sup>	-1,024	-0,795	0,229	0,812	0,05	1,204	1,108	-0,096	*)	0,10	120
78 <sup>2)</sup>	-0,676	-0,103	0,573	2,00	0,16	1,822	1,974	0,152	0,54	0,31	
177 <sup>3)</sup>	+3,186	+6,006	2,820	10,00	1,78	6,452	8,982	2,530	9,00	1,43	

## VR V

30	-0,788	-0,565	0,223	0,79	0,12	+0,86	+0,928	0,068	0,24 <sup>*)</sup>	0,17	260
180	-0,47	+0,983	1,453	5,2	0,77	+1,2	+2,339	1,139	4,0	1,02	
325	+0,348	+4,103	3,755	13,3	3,87	+2,234	+5,709	3,475	12,3	3,61	

## VR VI

30	-0,88	-0,487	0,391	1,4	-0,1	0,676	0,786	0,11	0,39	0,1	200
150	-0,624	+0,419	1,043	3,5	0,65	1,43	2,372	0,942	3,3	0,88	
278	+0,884	+4,176	3,292	11,6	2,65	2,894	5,424	2,530	9,0	1,70	

- 1) RiBlast
- 2) Gebrauchslast nach EC 2, Teil 1,  $\gamma = 1,43$
- 3) Bruchlast

\*) Schrägstab

Bild 2.11

	Rechenwerte							Versuchs- und Verhältnswerte						Bewehrung $A_{S,R}$ <sup>5)</sup> BSt 500/550 cm <sup>2</sup> - $\phi$	Betongüte <sup>6)</sup> $f_{c2}$ N/mm <sup>2</sup>	Stahlfließ- grenze $f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\omega_R = \frac{A_{S,R} \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f_c}$	$\rho_R = \frac{A_S}{b \cdot d}$ %	m 8)
	$F_{1,R}$ kN	$M_{U,R}$ <sup>9)</sup> kNm	$N_{U,R}$ <sup>1)</sup> kN	$F_{1,EC}$ kN	$M_{U,EC}$ <sup>9)</sup> kNm	$M_{SLS}$ <sup>4,9)</sup> kNm	$N_{SLS}$ <sup>1)</sup> kN	$F_{1,T}$ kN	$M_{U,T}$ kNm	$N_{U,T}$ <sup>1)</sup> kN	9/2	9/5	9/6						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
VR1	95	+ 61	+ 46	73	+ 47,0	+ 28,7	+ 21,7	96 <sup>3)</sup>	+ 54,7	+ 46,1	0,90	1,16	2,84	3,39 3 $\phi$ 12	40	520	0,057	0,44	+ 0,057
VR2	242	+ 154	+ 130,0	178	+ 114	+ 80,0	+ 60,0	226	+ 130	+ 109,5	0,84	1,14	1,63	9,42 3 $\phi$ 20	40	600	0,180	1,21	+ 0,135
VR3	300	- 193	- 154	236	- 151	- 107	- 80	304	- 195	- 146,0	1,01	1,31	1,83	9,42 3 $\phi$ 20	45	600	0,161	1,21	- 0,181
VR4	166	- 106	-	126	- 81	- 57	-	177	- 113	-	1,07	1,40	2,00	4,5 3 $\phi$ 12 + 4 $\phi$ 6	40	570	0,083	0,58	- 0,118
VR5	382	- 245	-	255	- 163	- 115	-	325	- 211	-	0,87	1,30	1,83	11,4 3 $\phi$ 20 + 4 $\phi$ 8	40	600	0,22	1,47	- 0,220
VR6	287	- 184	-	180	125	- 90	-	278 <sup>2)</sup> (-145,4)	- 177 (-145,4)	-	0,96 (0,79)	1,54 (1,17)	2,21 (1,61)	8,0 3 $\phi$ 16 + 4 $\phi$ 8	40	550	0,142	1,03	- 0,187

- 1) Längskraft im Riegel  
2) Bruchlast,  $M_{U,T}$  im Feld - 220 kNm, im Riegelanschnitt "rechts" ohne Steckbügel -145,4 kN, "links" - 177 kNm  
3) Bruch bei Steckbügel-Ende im Stiel  
4) Ermittelt mit  $\sigma = 300 \text{ N/mm}^2$   
5) Bewehrung der Zugseite im Riegelanschluß; Druckbewehrung nahezu gleich groß  
6) Zylinder-Druckfestigkeit  
7)  $f_y$  gemittelter Wert, vgl. Tabelle 2  
8)  $m = M_{UT}/(b \cdot d \cdot f_c)$   
9) Anschnittmomente, bezogen auf Schnitt 1-1, Bild 2.8

Bild 2.12: Rechnerische Schnittgrößen am Riegelanschluß, verglichen mit Versuchsergebnissen  
Querschnitt am Riegelanschluß  $b/h/d = 25/35/31 \text{ cm}$

### 2.7.1 Versuchskörper VR I, VR II

Die Bewehrungsführung dieser Versuchskörper (Anlagen 1 und 2) entspricht im Rotationsbereich I den Empfehlungen des DAfStb Heft 373. Der Anteil der Schrägbewehrung beträgt  $A_{ss}=0,55 A_{s2}$ . Im Rotationsbereich III entfällt die Schrägbewehrung. Der Rotationsbereich II wurde gegenüber der Berechnung nach E-Theorie überbewehrt.

<b>Versuchskörper VR1</b>	Gebrauchslast nach EC 2:	$F_1 \approx 42 \text{ kN}$
	Bruchlast:	$F_1 = 96 \text{ kN}$

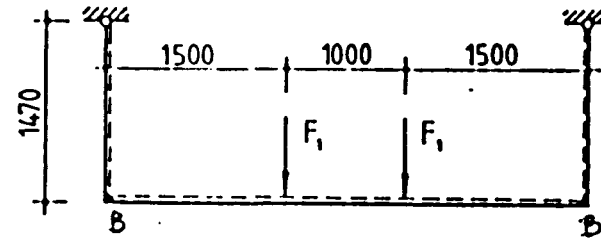
Die Tragfähigkeit erschöpfte sich durch Fließen der Stielbewehrung oberhalb der Steckbügel im Zugbereich, erkennbar an den Rißbreiten der Risse 12 und 13 (Bild 2.15). Offensichtlich wurde der Knotenbereich durch die konstruktive Bewehrung (Schrägstäbe, Steckbügel) hinreichend versteift. Hinsichtlich der Tragwirkung in den Rotationsbereichen I und III sind bis zur Gebrauchslast keine Unterschiede festzustellen, unterschiedliche Momentumlagerungen wurden nicht beobachtet. Gleichlautende Feststellungen lassen sich zur Rißentwicklung (Bild 2.15) treffen. Die Kehlrisse 7 und 8 öffneten sich bis zur Gebrauchslast auf 0,25 mm, wobei der Einfluß der Schwellbelastung bereits eingeschlossen ist. Die ersten Risse wurden bei  $F_1 = 12 \text{ kN}$  beobachtet.

Mit zunehmender Belastung oberhalb der Gebrauchslast stellte sich eine geringere Tragwirkung des Rotationsbereiches III gegenüber dem Rotationsbereich I ein. Die Breite des Kehlrisses im Bereich III mit 1,5 mm war im Bruchzustand deutlich größer als die Kehlrißbreite im Bereich I mit 0,75 mm (Bild 2.15).

Bereich III ließ im Vergleich zum Bereich I eine deutlich größere Rotationsfähigkeit erkennen.

Die Durchbiegungen zu ausgewählten Laststufen sind in Bild 2.16 und 2.17 dargestellt; die Bilder 2.18 und 2.19 zeigen die Winkeländerungen, Bild 2.24 gibt eine tabellarische Übersicht der Knotenverformungen. Die Knotendrehungen  $\varphi$  wurden bereits in Bild 2.10 angegeben.

# Momentenverlauf



# Versuchsrahmen I

Laststufe 14 . Gebrauchslast

$F_1 = 42.0 \text{ kN}$

$M_{B,R} = + 27 \text{ KNm}$   
(Schnitt 1-1, Bild 2.8)  
 $M_{B,R} = + 31 \text{ KNm}$   
(Achsschnitt)

Moment in kNm

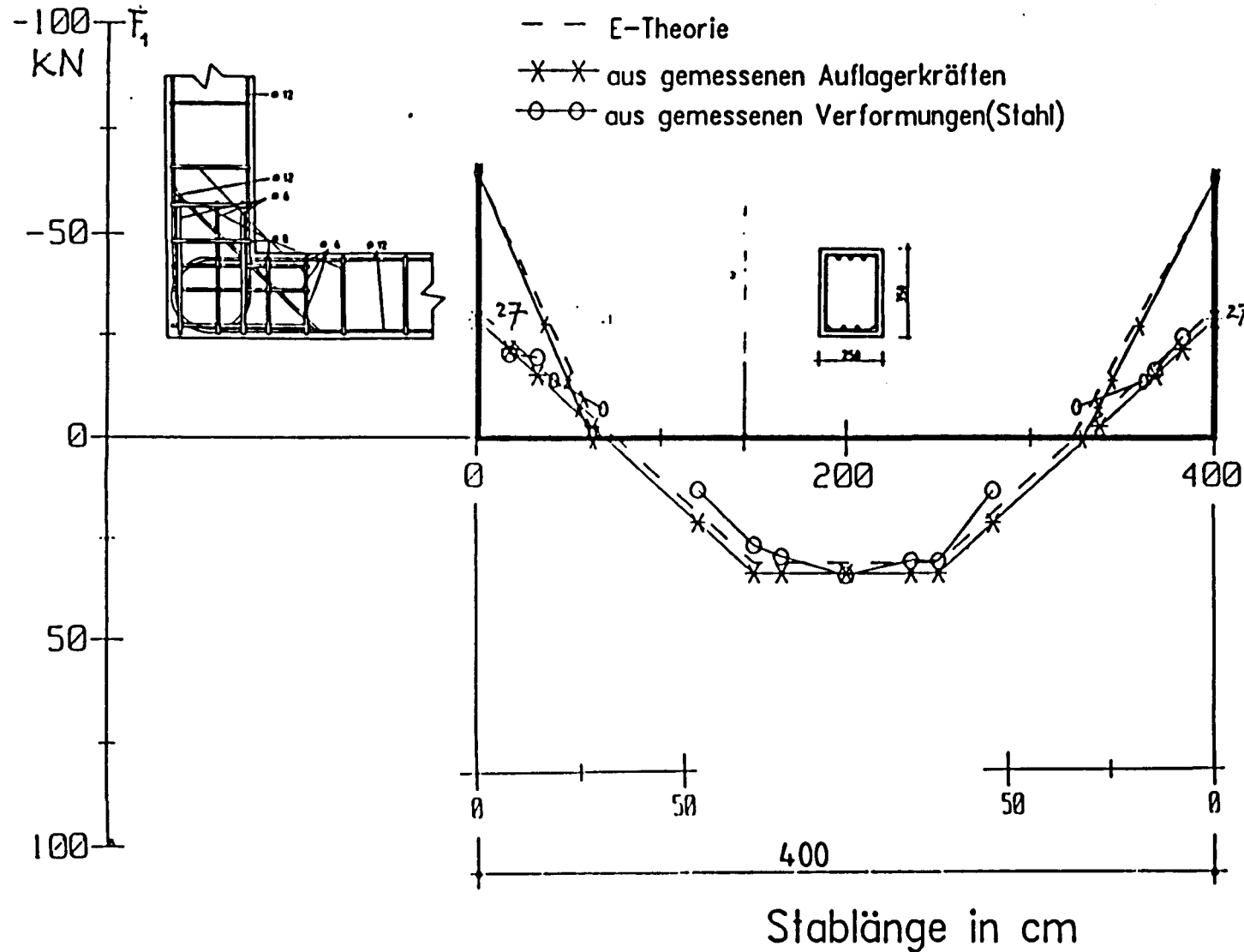
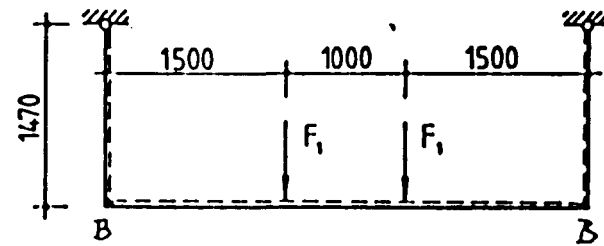


Bild 2.13



# Momentenverlauf



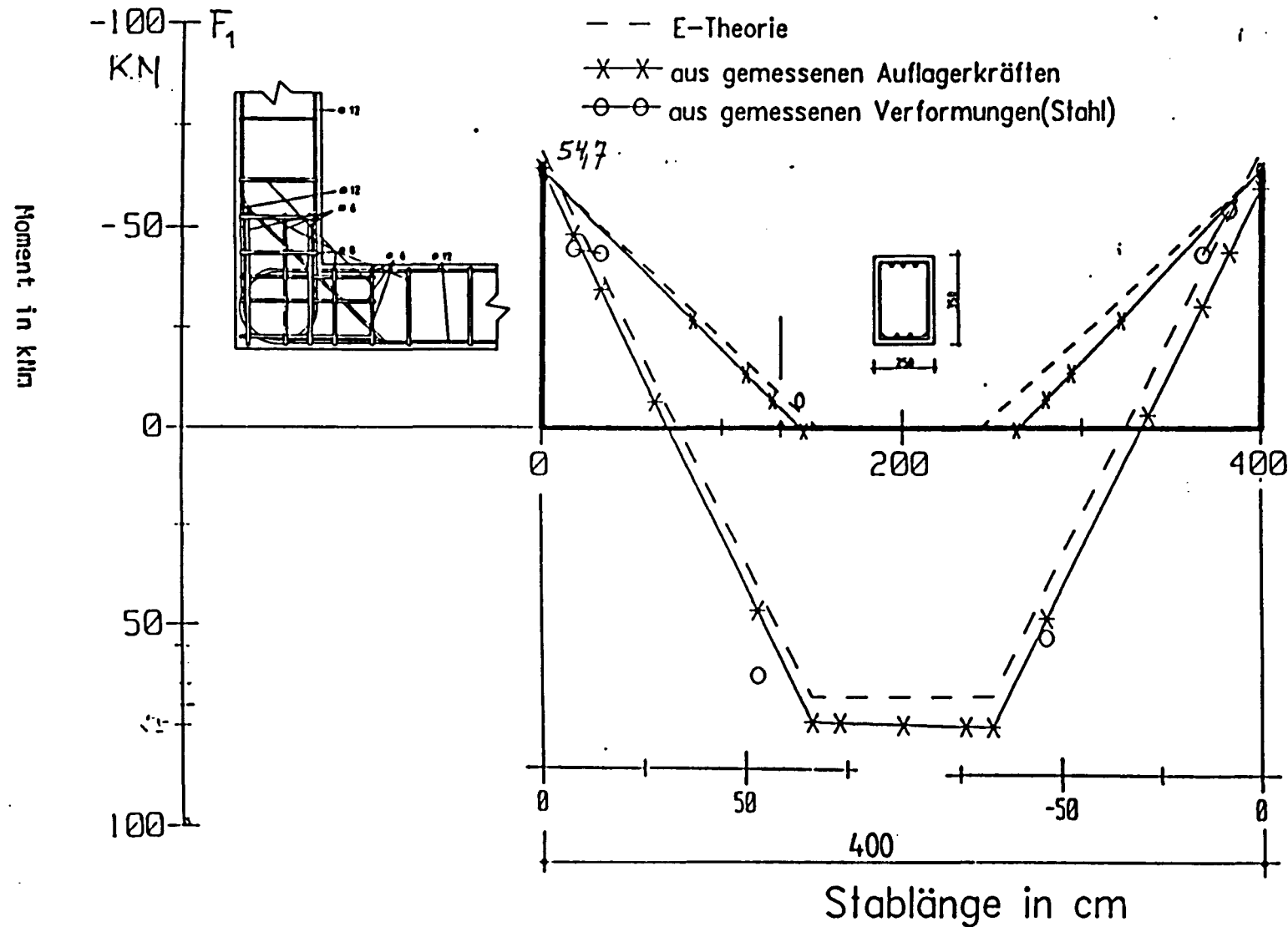
# Versuchsrahmen I

Laststufe 40

$F_1 = 96.0 \text{ kN}$

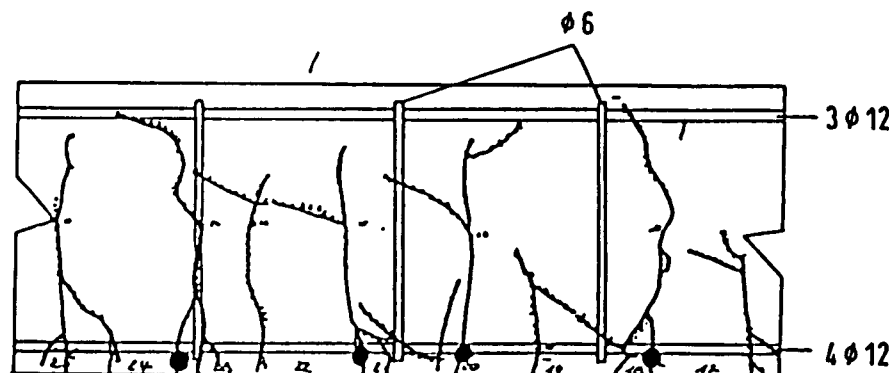
Bruchlast

$M_{U,T} = + 54,7 \text{ KNm}$   
 $M_{U,R} = + 61,5 \text{ KNm (Bild 2.8)}$

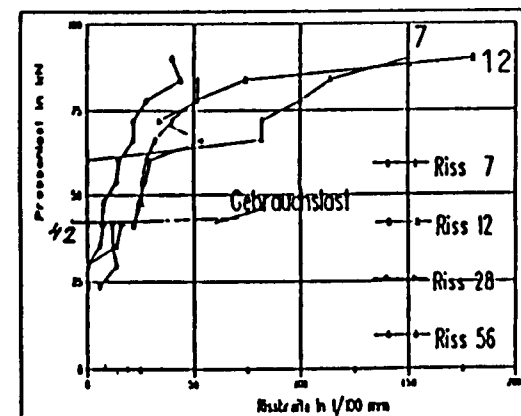
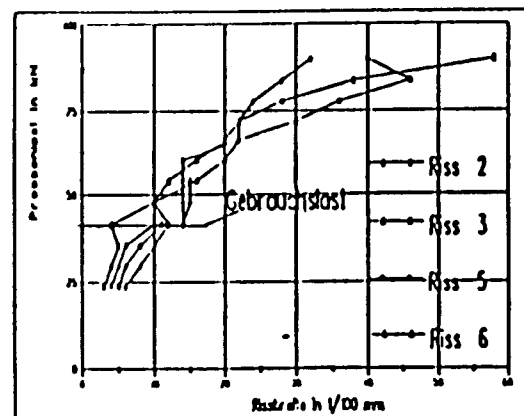
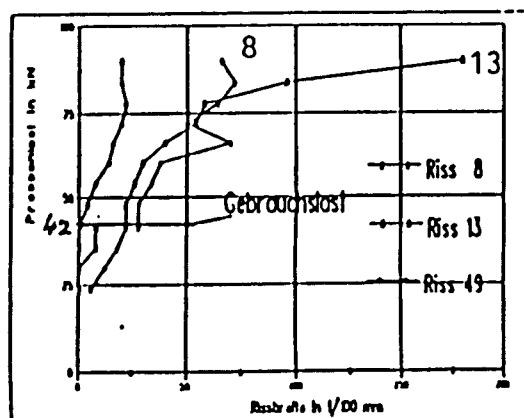
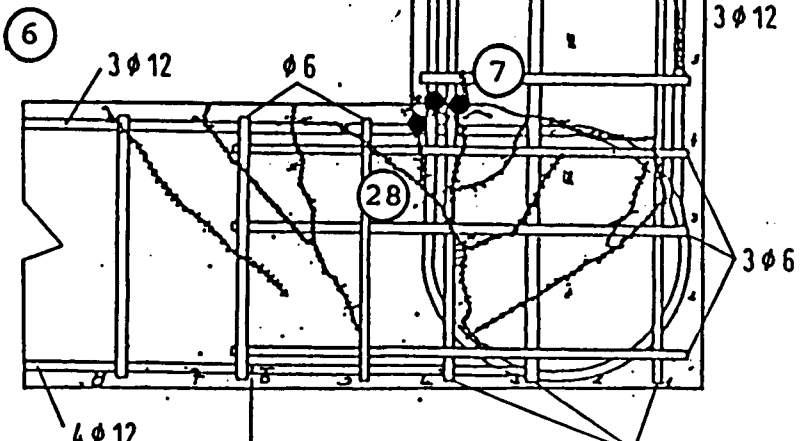
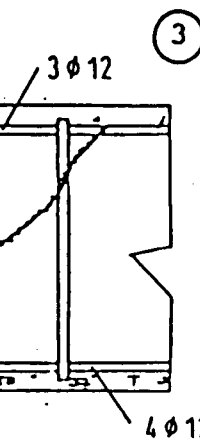
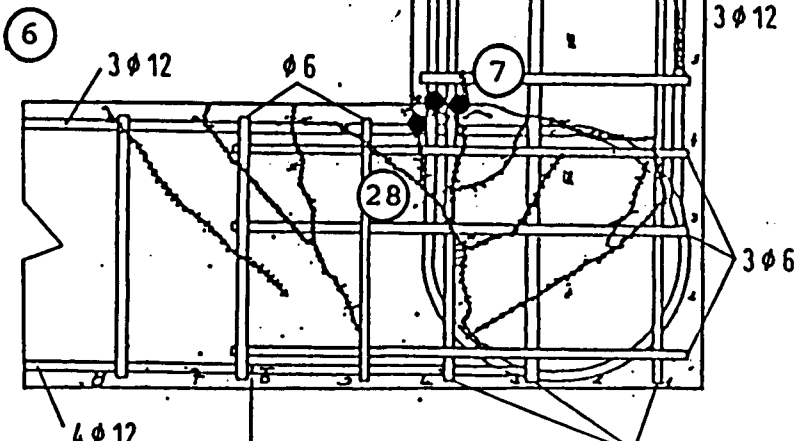
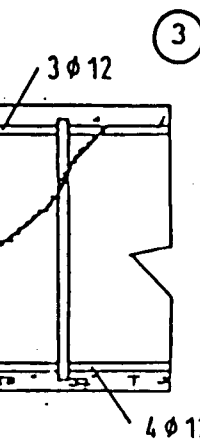
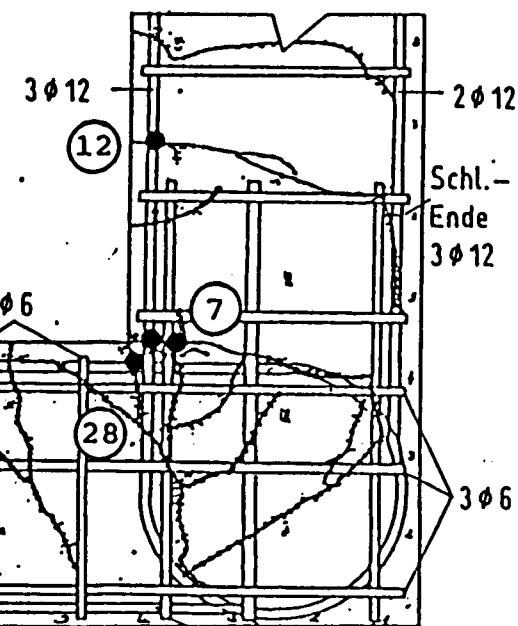


Rotations-  
bereich I

Rotations-  
bereich III



Rotations-  
bereich II

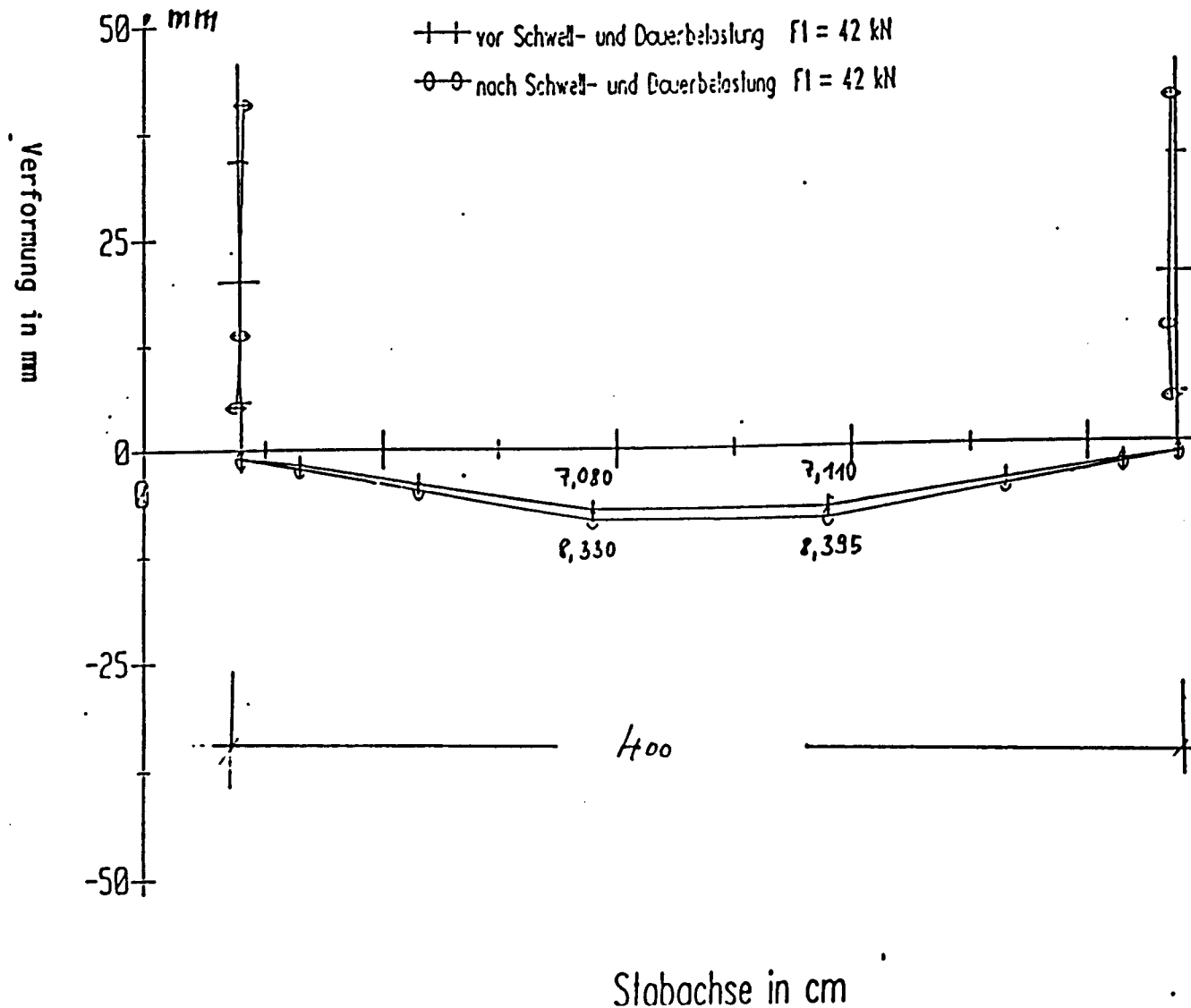


# Verformung am Versuchsrahmen

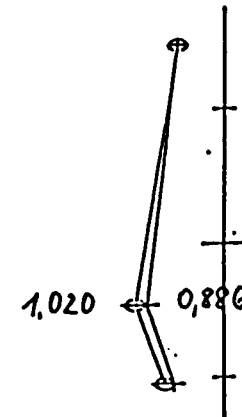
## Versuchsrahmen I

vor bzw. nach Schwell- und Dauerbelastung

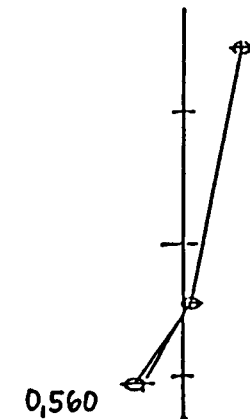
10fache Vergrößerung der Verformung  
an den Stielen

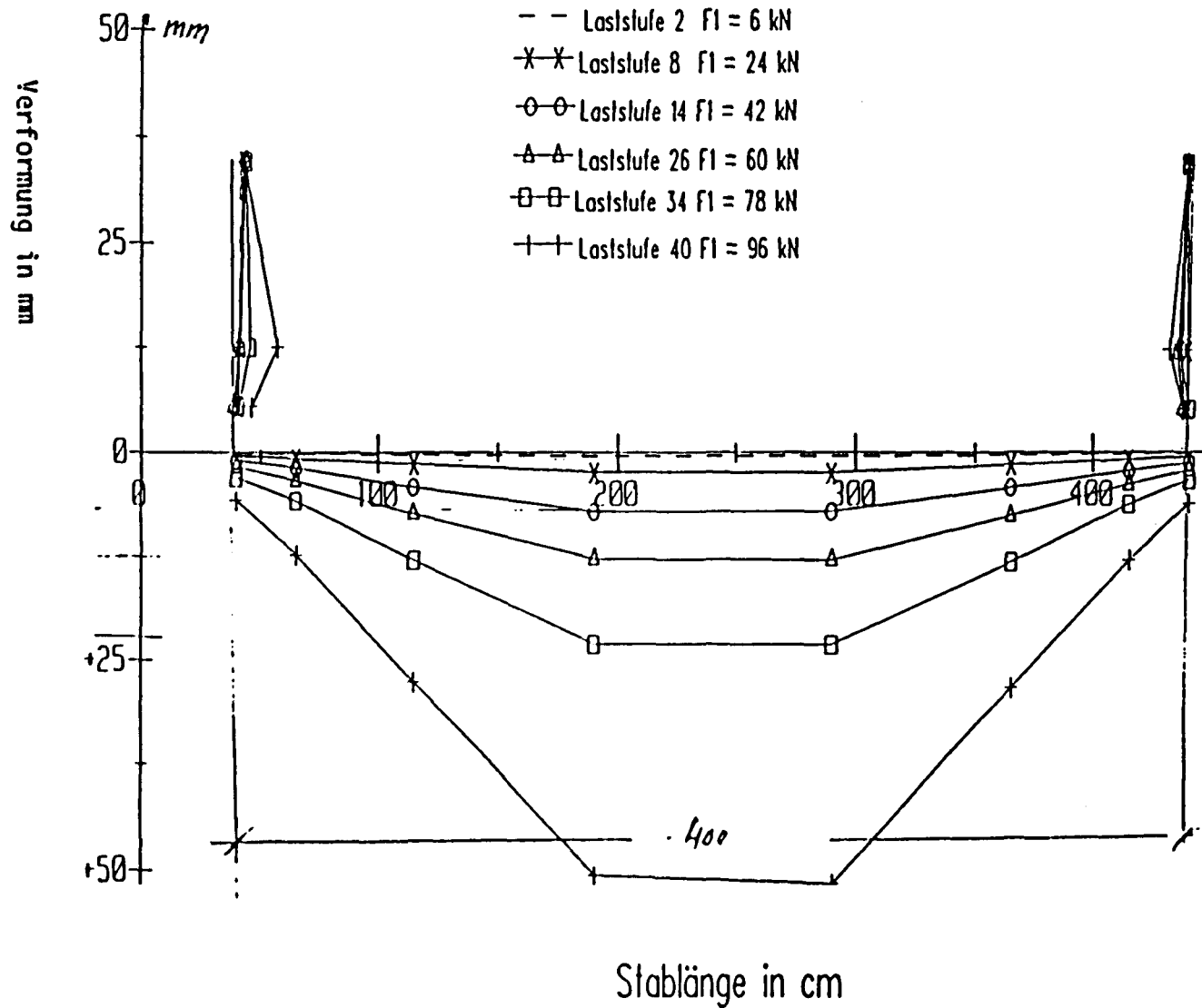


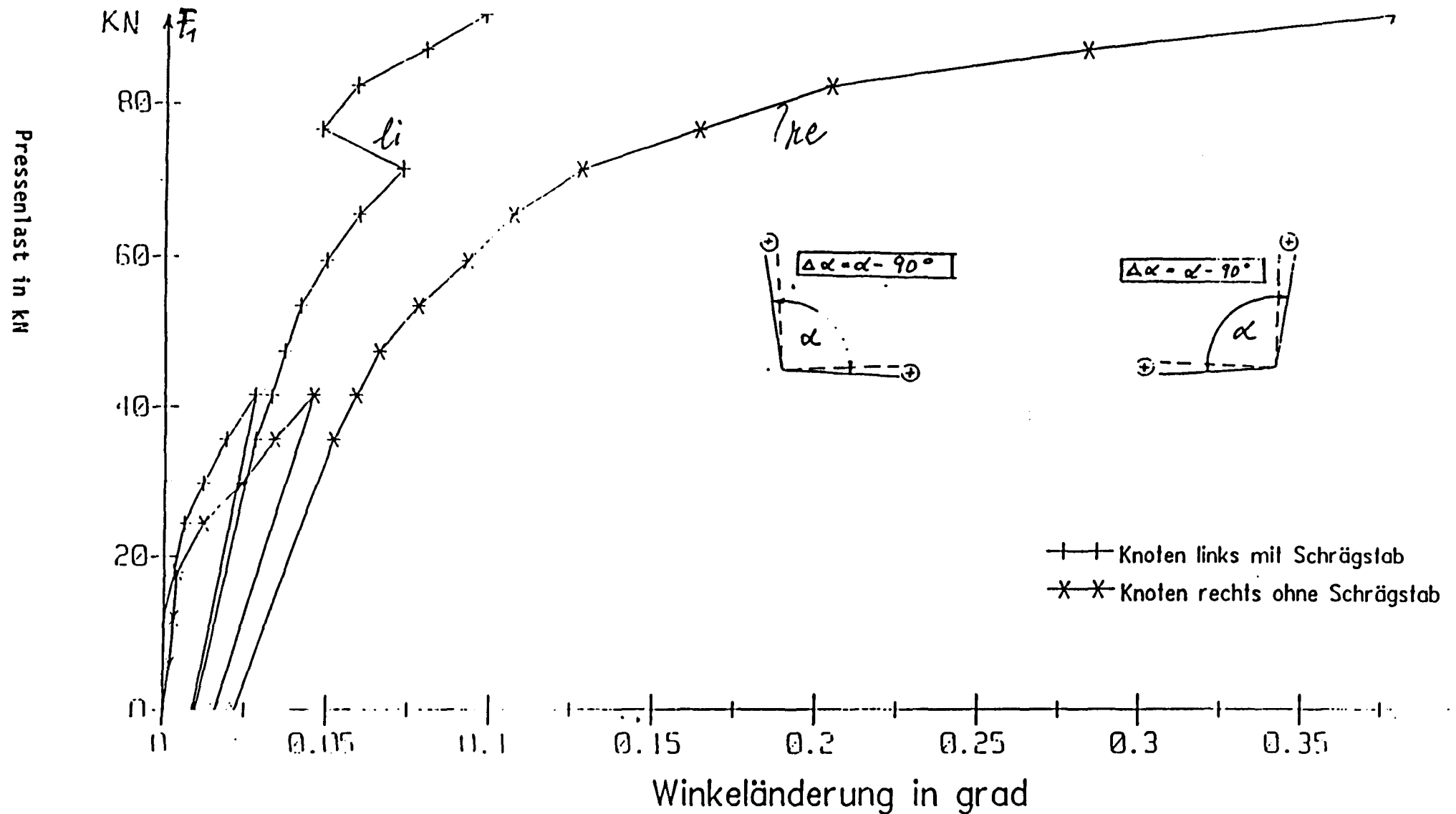
rechts



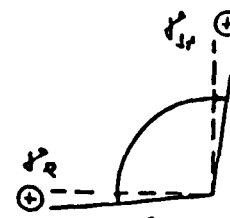
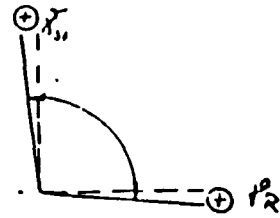
links



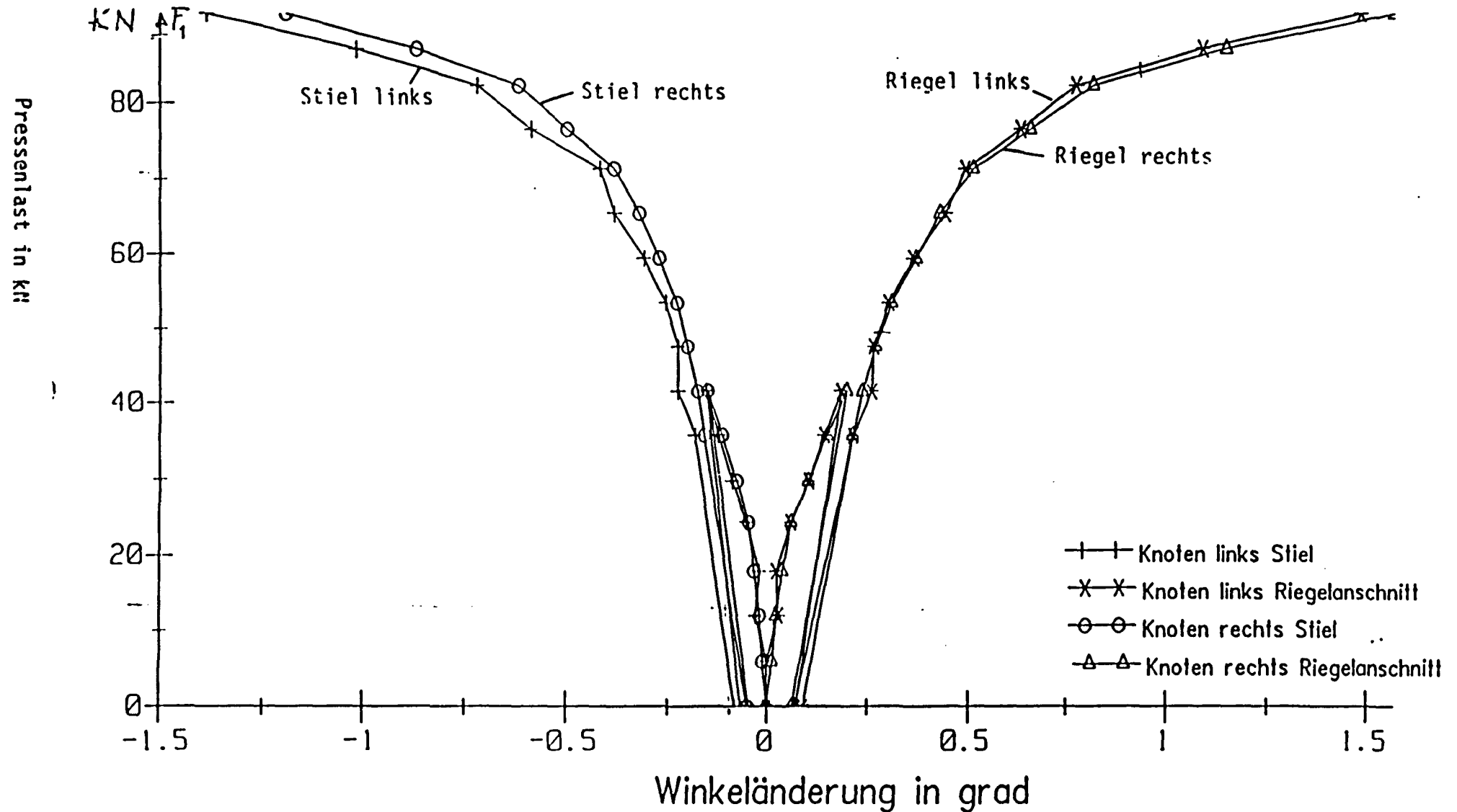


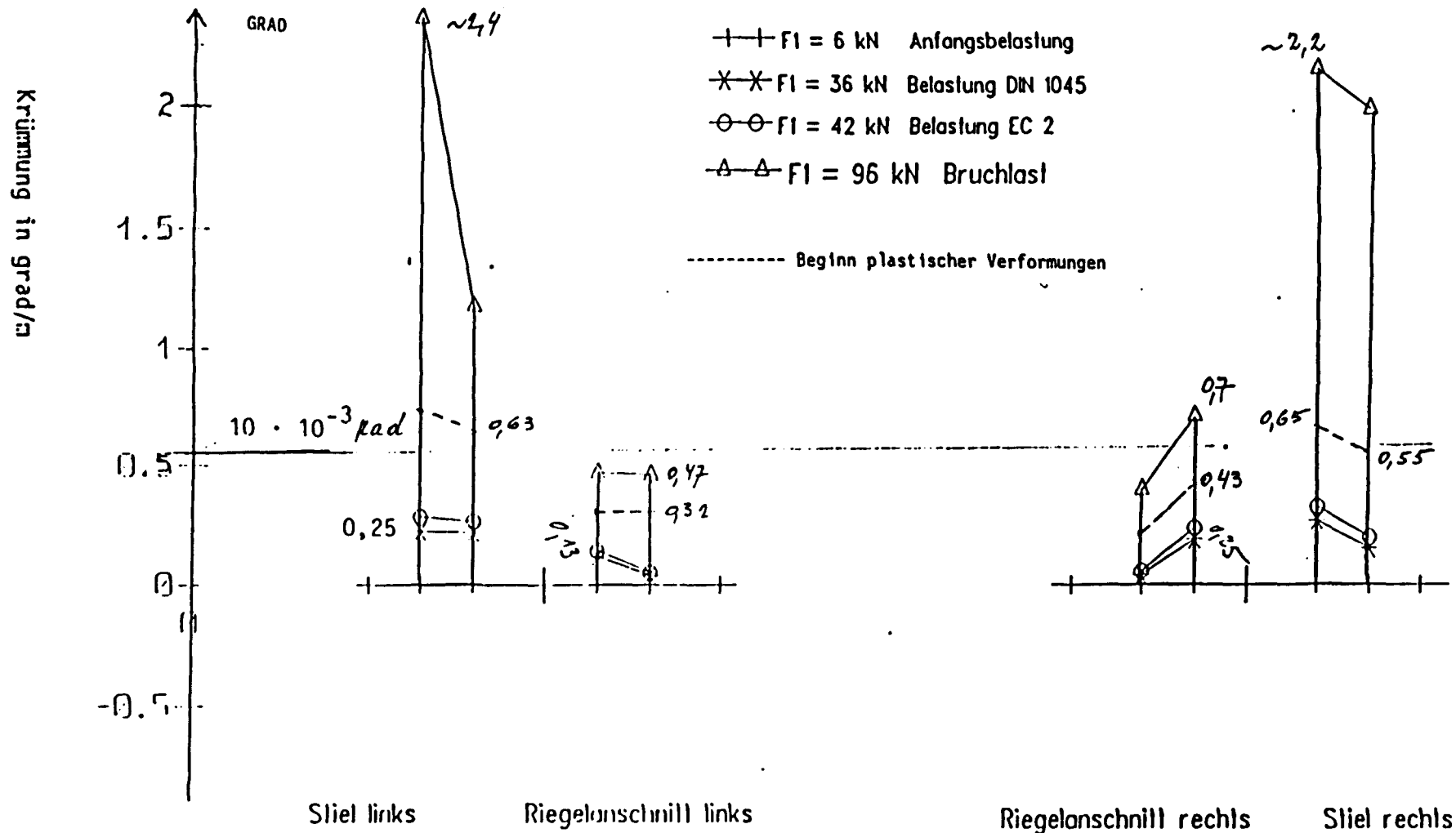


# Winkeländerung Stabachsen (Knotendrehung)

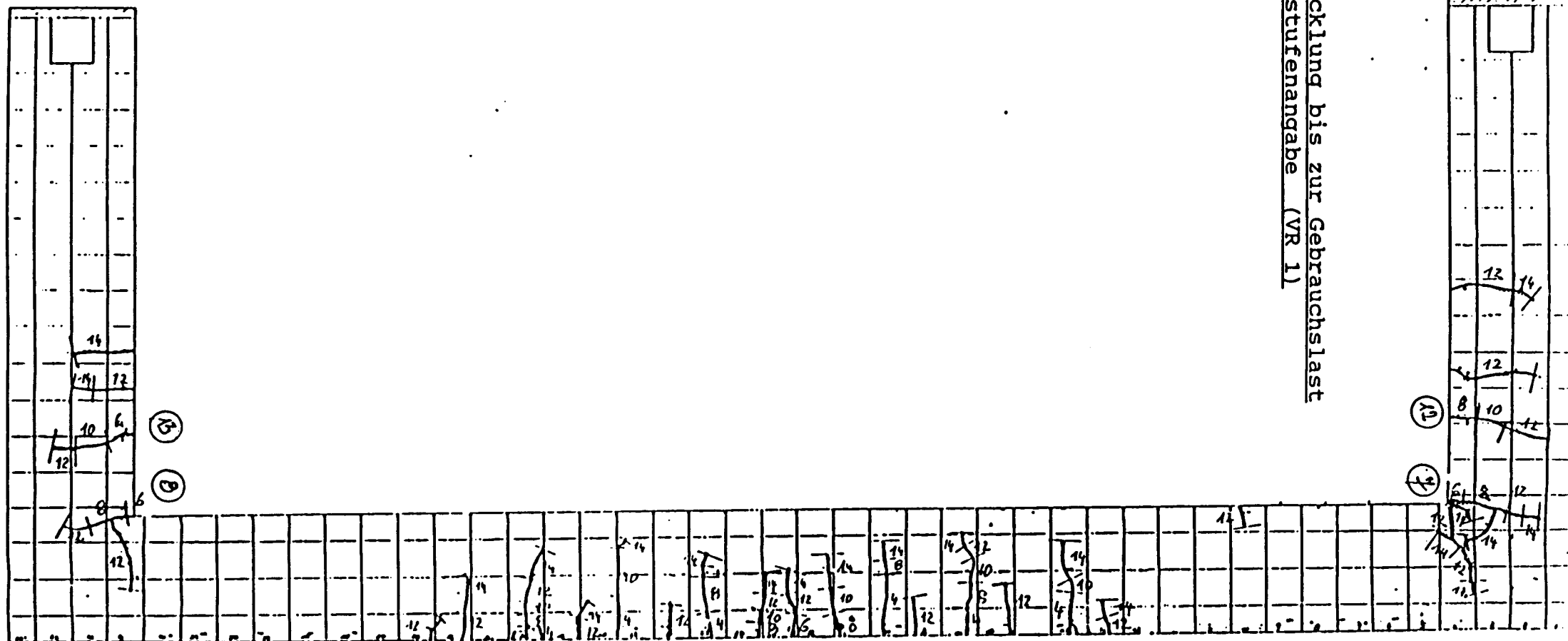


## Versuchsrahmen I

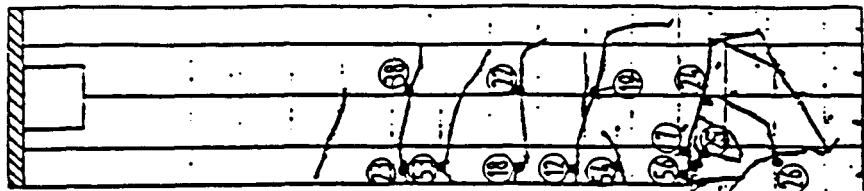




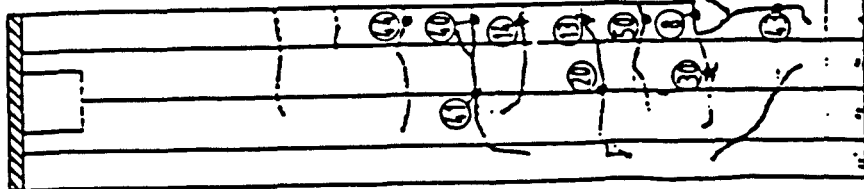
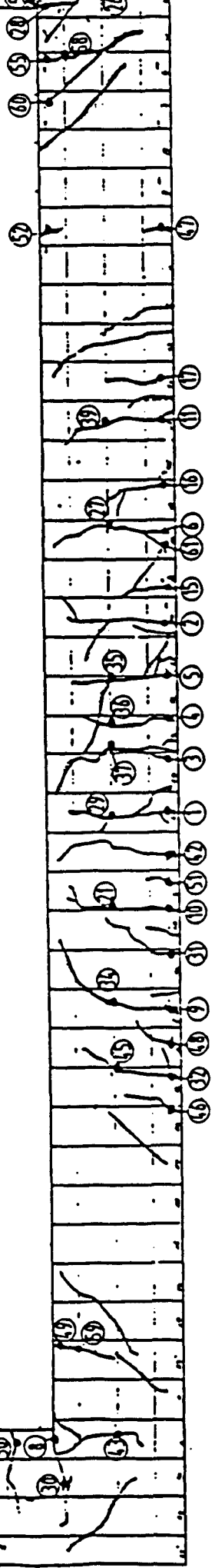
Ribentwicklung bis zur Gebrauchslast  
mit Laststufenangabe (VR 1)







Gesamtrißbild (VR 1)  
mit Angabe der Rißbreitenmeßpunkte (•)



Versuchsrahmen 1

Riss	Laststufe														
	8	10	12	14	16	19	20	22	24	26	29	31	34	36	38
	Belastung in kN														
	24	30	36	42	0	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
	Rissbreite in 1/100 mm														
1	8	14	16	16	-	14	16	18	18	20	24	24	24	28	40
2	6	8	10	12	4	12	14	14	14	14	22	22	24	28	32
3	3	4	5	4	-	4	4	10	12	16	20	22	28	38	58
4	6	8	10	10	-	10	10	11	14	14	16	16	9	11	12
5	5	6	8	11	-	8	12	10	16	20	22	30	36	46	40
6	4	5	6	10	3	10	14	15	15	16	16	26	26	24	32
7	6	14	12	12	6	22	22	24	28	30	54	-	52	52	-
8	6	12	18	22	8	18	28	28	34	38	70	50	64	72	66
9	-	5	7	10	4	10	12	14	15	16	20	24	23	60	-
10	-	8	10	12	5	14	15	18	18	22	24	26	31	40	38
11	-	4	6	6	-	12	12	14	14	14	20	12	14	18	22
12	-	-	14	16	6	22	22	26	26	28	32	40	50	74	180
13	-	-	8	8	4	20	22	22	26	30	40	54	58	96	180
14	-	-	5	6	-	6	6	8	10	18	14	14	18	12	16
15	-	-	6	7	-	8	6	8	8	10	11	11	12	34	30
16	-	-	6	7	-	7	8	8	10	15	22	22	32	33	-
17	-	-	3	4	-	6	5	6	8	8	8	8	8	8	8
18	-	-	6	8	-	12	12	12	18	20	22	24	12	16	26
19	-	-	4	5	3	6	7	10	14	14	16	16	20	36	96
20	-	-	4	6	2	8	8	8	12	16	24	24	34	63	90
21	-	-	6	8	3	8	8	11	14	16	16	22	16	16	16
22	-	-	4	4	-	5	5	5	6	6	6	6	6	6	4
23	-	-	6	4	-	4	3	4	4	3	3	3	2	3	2
24	-	-	6	12	4	10	12	14	13	18	19	22	8	6	54
25	-	-	4	6	2	8	8	10	10	12	24	24	26	28	25
26	-	-	4	6	4	8	8	10	12	10	12	12	12	12	8
27	-	-	6	8	4	8	10	13	14	18	16	20	22	24	20
28	-	-	6	8	4	8	7	8	14	15	22	22	28	44	40
29	-	-	5	6	-	7	8	11	12	12	13	16	18	24	24
30	-	-	5	10	4	10	12	14	10	14	10	11	4	3	4
31	-	-	5	7	-	6	7	8	10	10	12	14	13	17	20
32	-	-	4	5	-	6	6	6	7	8	8	9	6	5	6
34	-	-	-	4	2	4	5	5	8	8	8	8	17	24	24
35	-	-	-	4	-	4	4	5	6	7	10	10	14	18	24
36	-	-	-	3	-	4	4	4	6	6	6	8	8	10	15
37	-	-	-	4	-	4	4	5	6	7	10	12	11	11	12
38	-	-	-	4	-	4	4	4	6	7	7	7	6	7	8
39	-	-	-	4	-	6	5	6	8	8	6	6	5	6	6
40	-	-	-	10	11	12	13	18	14	20	25	28	36	35	66
41	-	-	-	4	6	5	5	6	7	8	8	10	13	17	30
42	-	-	-	-	-	5	6	7	8	14	16	16	24	34	42
43	-	-	-	-	-	-	6	6	8	10	10	12	10	10	8
44	-	-	-	-	-	-	6	6	10	12	16	16	15	15	14
45	-	-	-	-	-	-	2	3	4	4	6	6	3	4	4
46	-	-	-	-	-	-	4	4	4	6	7	7	7	8	6
47	-	-	-	-	-	-	2	2	2	6	4	4	6	8	12
48	-	-	-	-	-	-	-	3	4	4	4	4	8	11	-
49	-	-	-	-	-	-	-	4	8	14	16	20	22	20	20
50	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	5	5	4	5	6
51	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	6	6	5	6	6
52	-	-	-	-	-	-	-	3	4	3	4	4	3	4	2
53	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	10	10	14	16	18
54	-	-	-	-	-	-	-	-	4	8	7	12	16	16	16
55	-	-	-	-	-	-	-	-	5	8	6	8	8	8	8
56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82	82	100	114	150	150
58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	5	5	5	6	6
59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	18	15	15	14	14
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	3	5	4	4
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	12	26	26

Bild 2.23

		Rotationsbereich I	Rotationsbereich III
VR I	F 1 kN	mit Schrägstab (links) rad $10^{-3}$	ohne Schrägstab (rechts) rad $10^{-3}$
Gebrauchslast	42		
Knotendrehung nach E-Theorie, Zust.I	42	0,52	0,52
gemessene Knoten- drehung	42	2,61	3,05
Winkeländerung gegenüber $90^\circ$	42	0,52	0,81
max. Rißbreite mm		0,25	0,25

Bruchlast			
Knotendrehung nach E-Theorie, Zust.I	96	1,19	1,19
gemessene Knoten- drehung	96	26,1	30,5
Winkeländerung gegenüber $90^\circ$	96	1,72	6,63
max. Rißbreite mm		0,75	1,5

Die Mittendurchbiegungen betrugen:

unter Gebrauchslast vor Schwellbelastung:	7,1 mm
unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung:	8,4 mm
im Versagenszustand	> 50,0 mm

Bild 2.24: VR I, Knotenverformungen und max. Rißbreiten

Versuchskörper VR II

Gebrauchslast nach EC 2:  
Bruchlast:

$F_1 = 114 \text{ kN}$   
 $F_1 = 228 \text{ kN}$

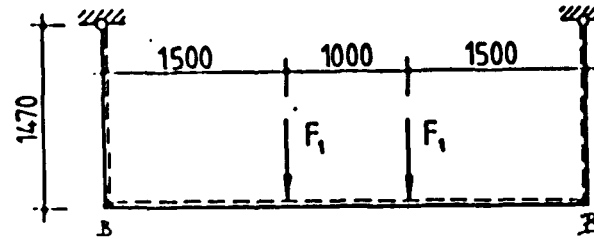
Der Bruch dieses Versuchskörpers trat durch Versagen der Biegedruckzone im Riegel ein. Im Rotationsbereich II wurde die Grenze der Rotationsfähigkeit erreicht.

Anhand der Momentenumlagerungen im Vergleich zum Momentenverlauf nach E-Theorie läßt sich abweichendes Trag- und Verformungsverhalten in den Rotationsbereichen I und III feststellen. Im Rotationsbereich I bewirkt der Schrägstab eine Versteifung des Knotens und damit eine erhöhte Tragwirkung, Rotationen im Knoten I vergleichsweise gering (Bilder 2.25 und 2.26).

Der fehlende Schrägstab im Rotationsbereich III vermindert die Steifigkeit im Knoten und ermöglicht dort größere Rotationen. In der Rißentwicklung der Rotationsbereiche zeigen sich deutlich größere Rißbreiten im Bereich III. So weist der Kehlriß 20 im Rotationsbereich III nach Abschluß der Schwellbelastung unter Gebrauchslast bereits eine Rißbreite von 0,6 mm, dagegen der Kehlriß 2 im Knoten I nur eine Rißbreite von 0,25 mm auf. Im Rotationsbereich II liegen die Rißbreiten unter 0,25 mm (Bild 2.27). Die ersten Risse wurden bei  $F_1 = 20 \text{ kN}$  beobachtet.

Die Tabelle Bild 2.36 zeigt die Verformungen in den beiden Eckknoten.

# Momentenverlauf



## Versuchsrahmen II

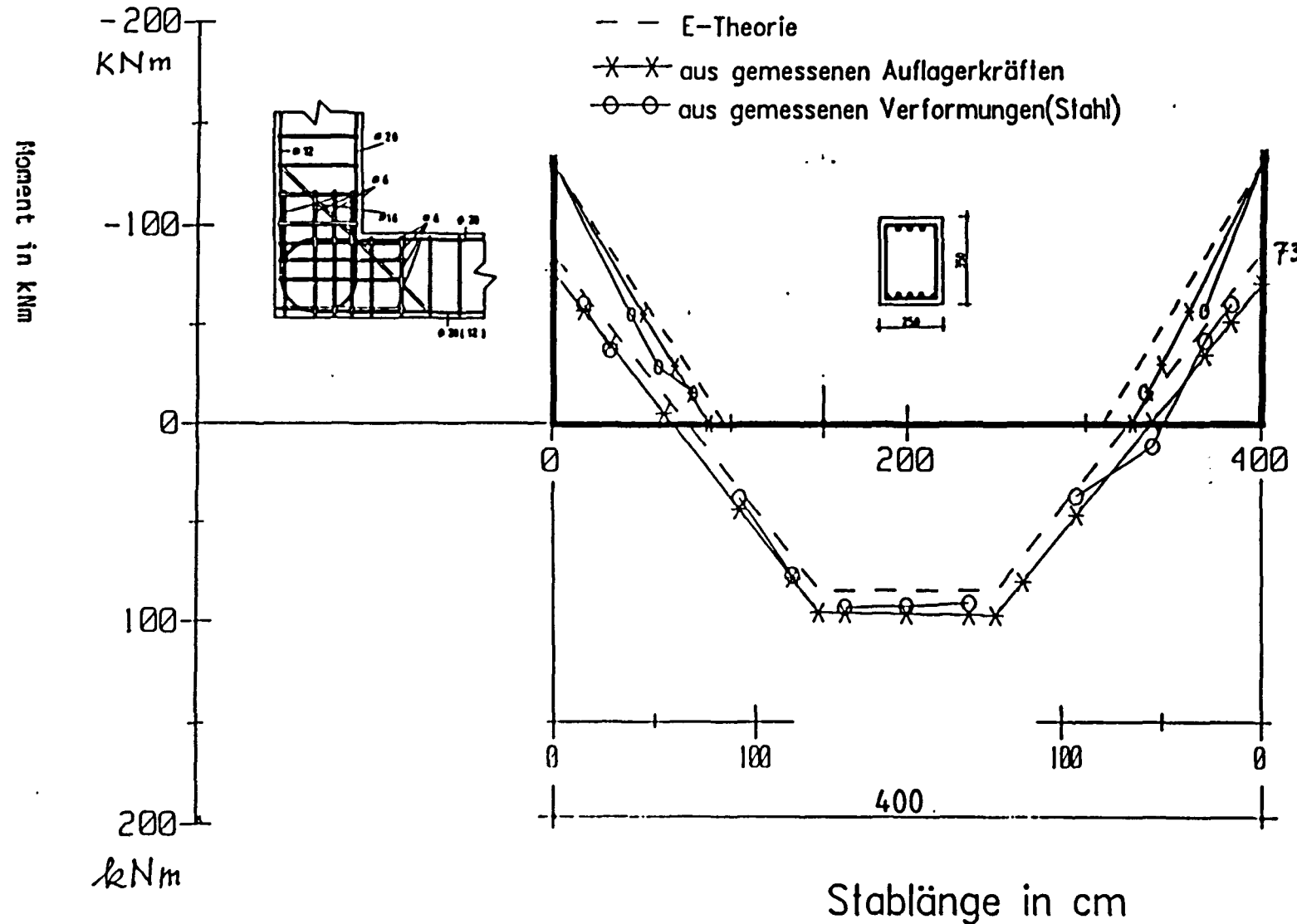
Laststufe 12

$F_1 = 114 \text{ kN}$

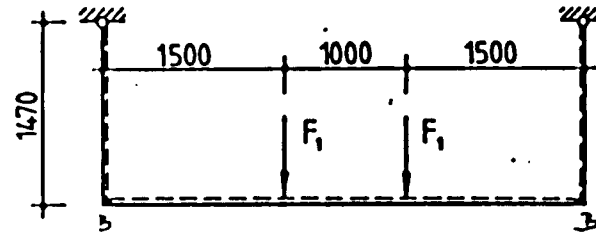
Gebrauchslast

$M_{B,R} = + 73 \text{ KNm}$   
(Schnitt 1-1, Bild 2.8)

$M_{B,R} = + 84 \text{ KNm}$   
(Achsschnitt)



# Momentenverlauf



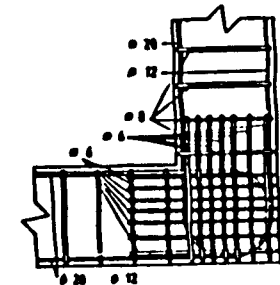
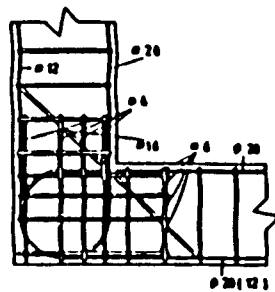
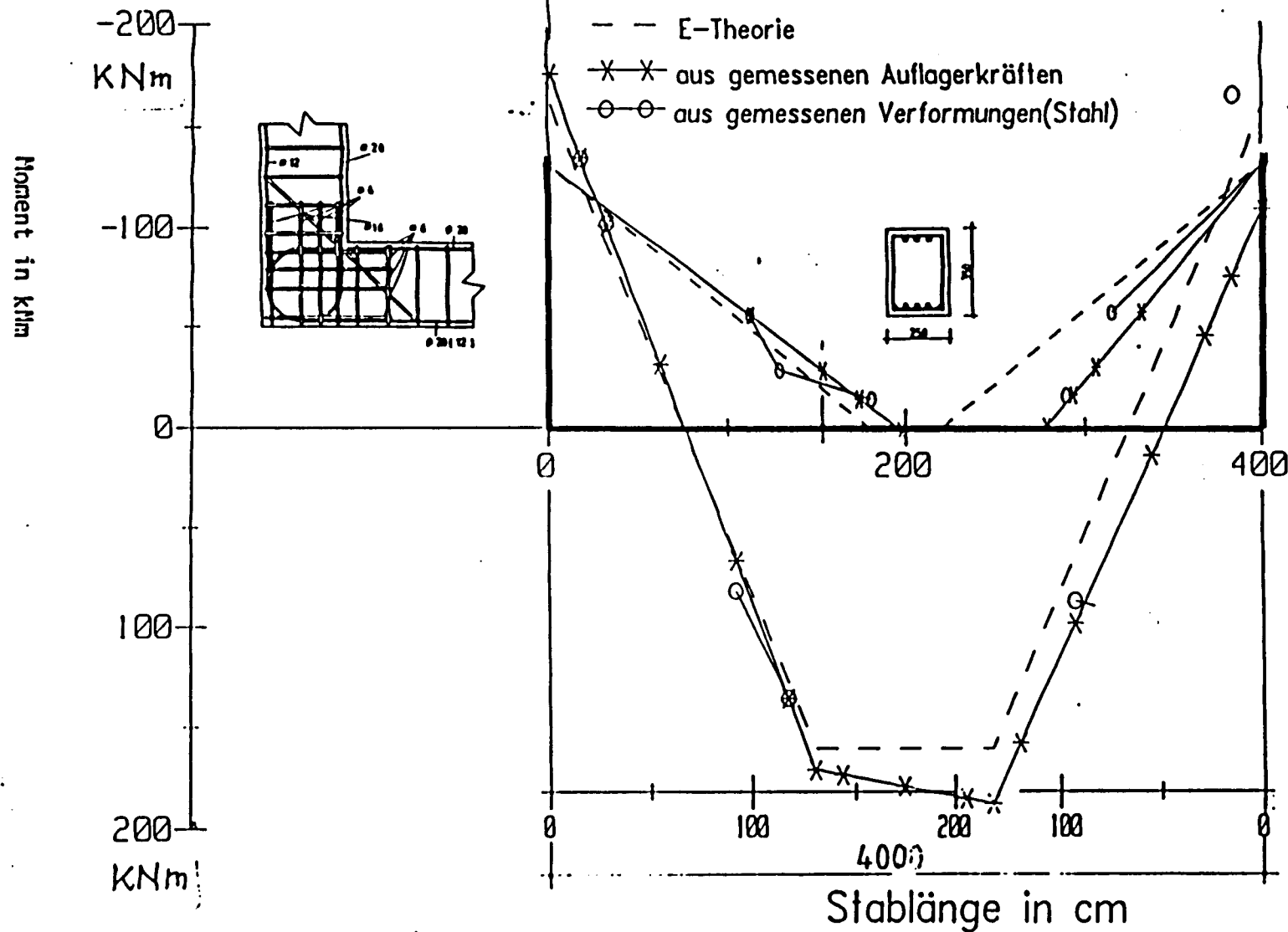
## Versuchsrahmen II

Laststufe 51

Bruchlast

$F_1 = 226 \text{ kN}$

$M_{U,T} = +130 \text{ KNm}$   
 $M_{U,R} = +147 \text{ KNm (Bild 2.8)}$



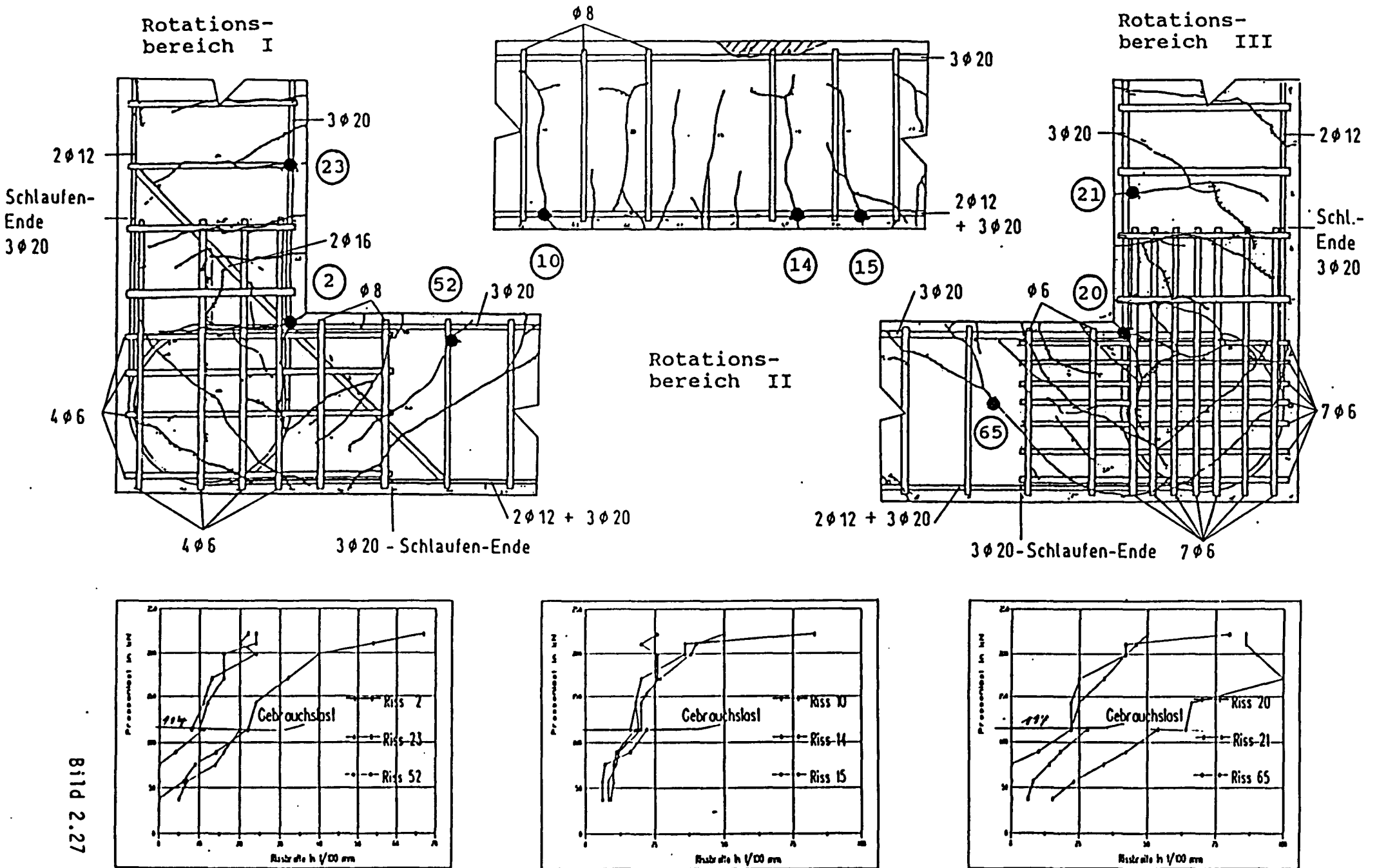


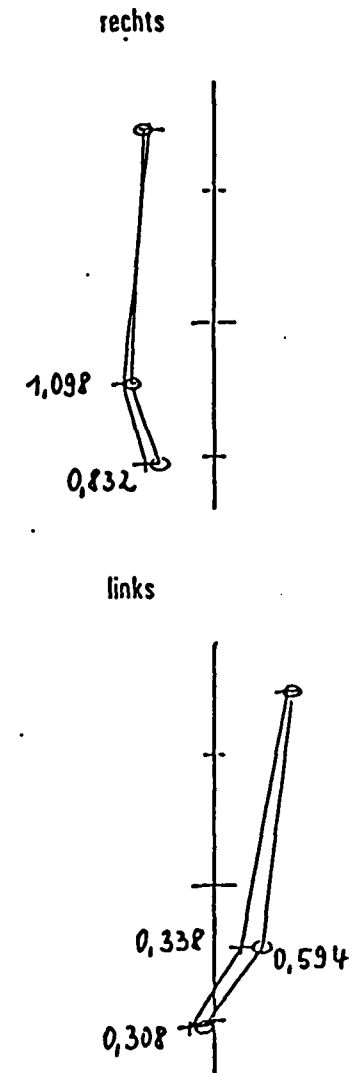
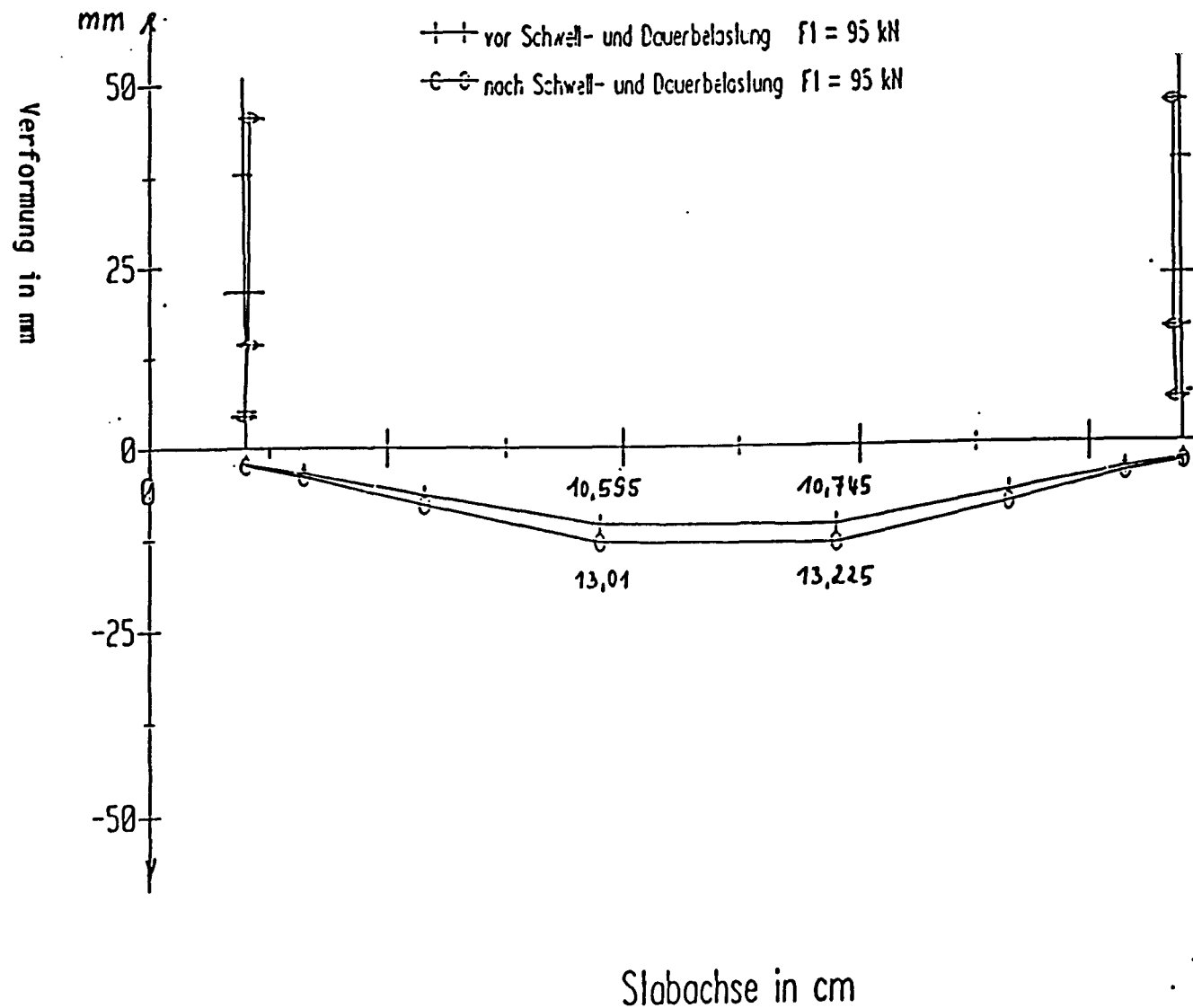
Bild 2.27

# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen II

vor bzw. nach Schwell- und Dauerbelastung

10fache Vergrößerung der Verformung  
an den Stielen





# Verformung am Versuchsrahmen

Schwellbelastung mit 10000 Lastwechsel ( $F_u=57 \text{ kN}$ ,  $F_o=104.5 \text{ kN}$ ,  $f=0.2 \text{ Hz}$ )

Dauerbelastung mit  $F_d = 95 \text{ kN}$  Belastungszeit 24 h

## Versuchsrahmen II

V - vor Schwell- und Dauerbelastung

N - nach Schwell- und Dauerbelastung

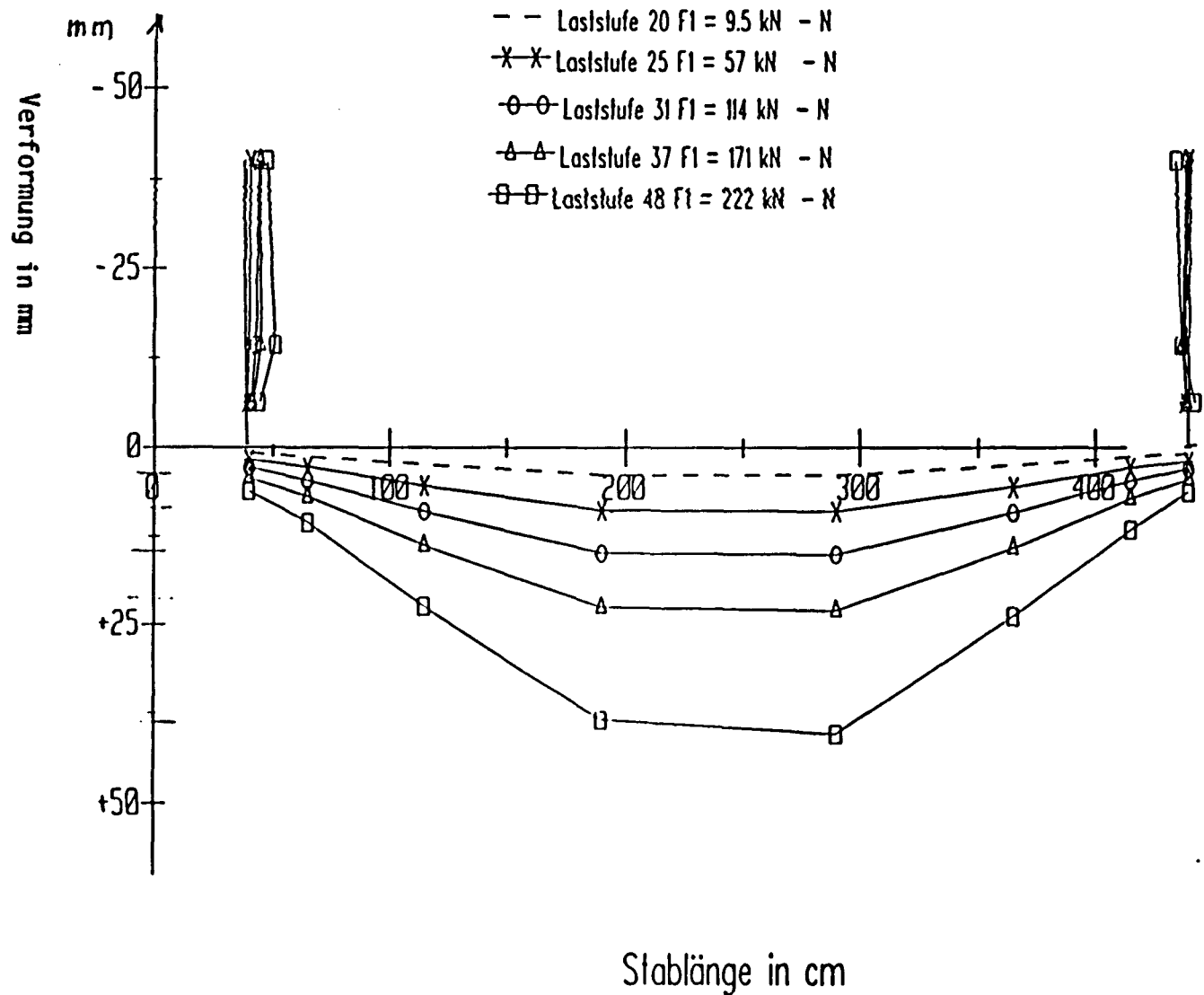
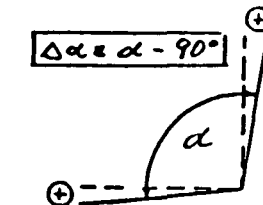
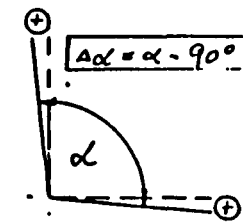
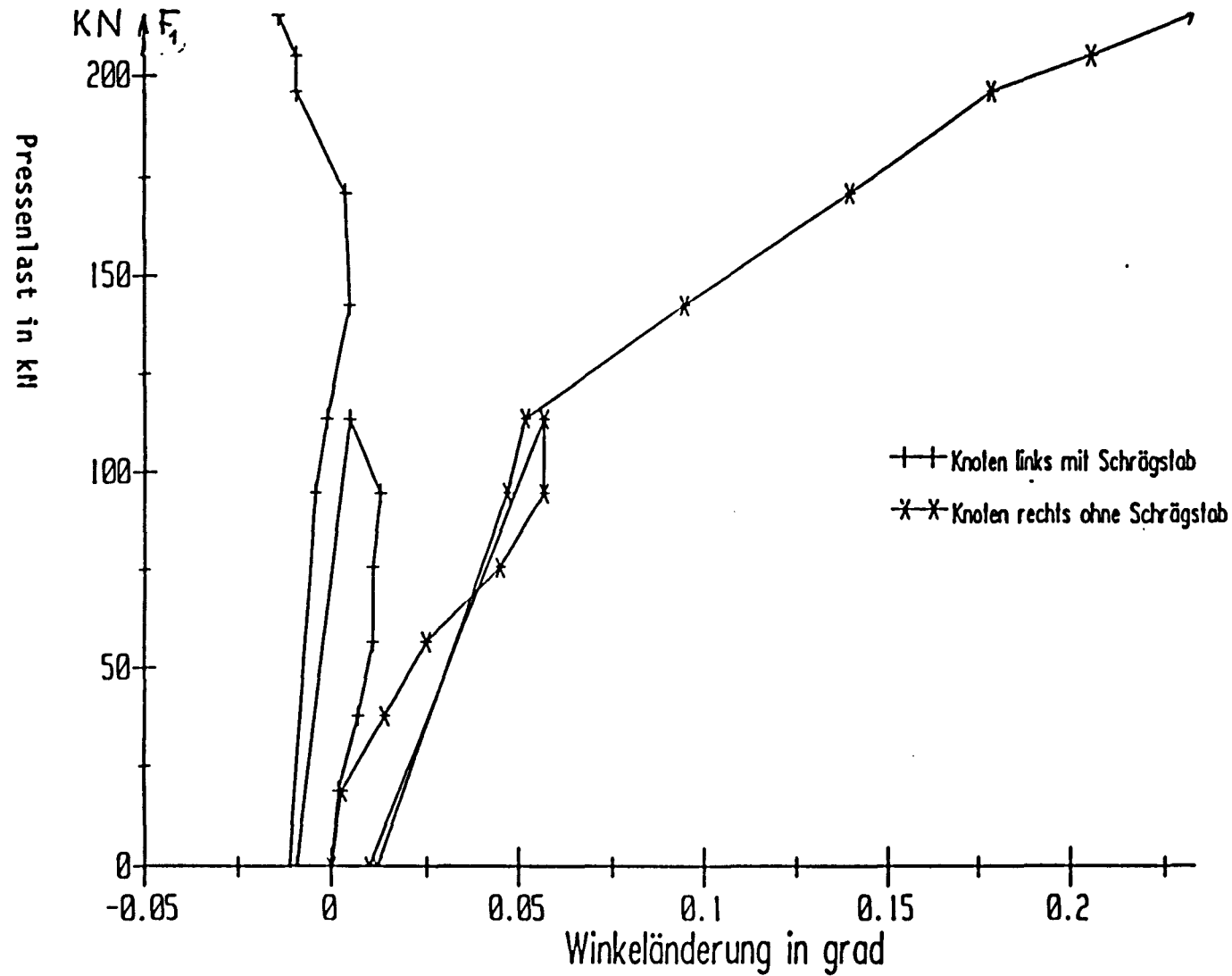
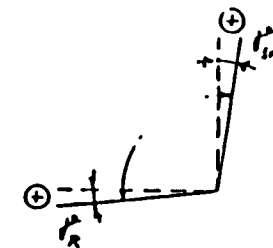
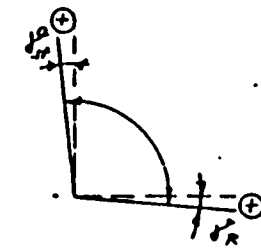
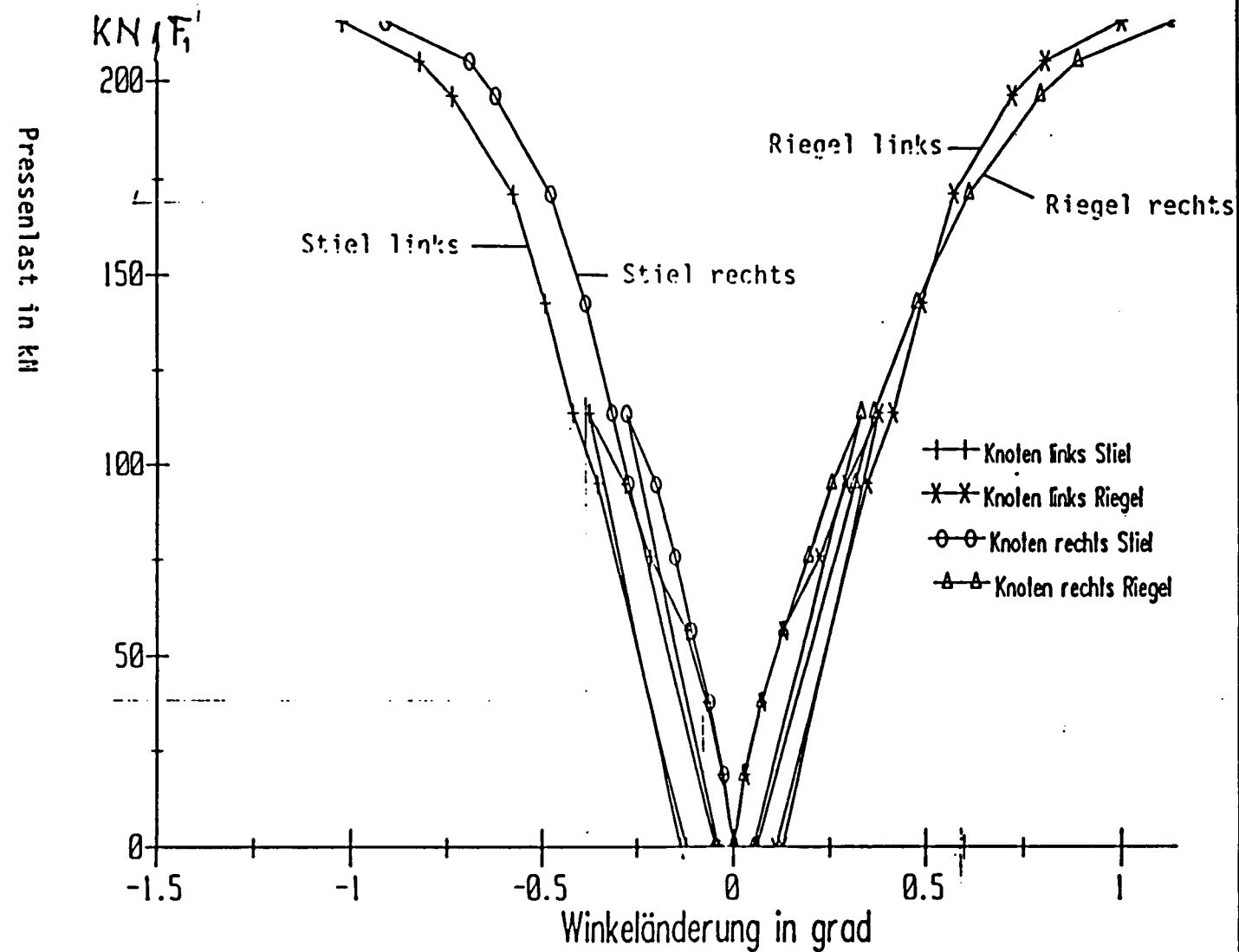


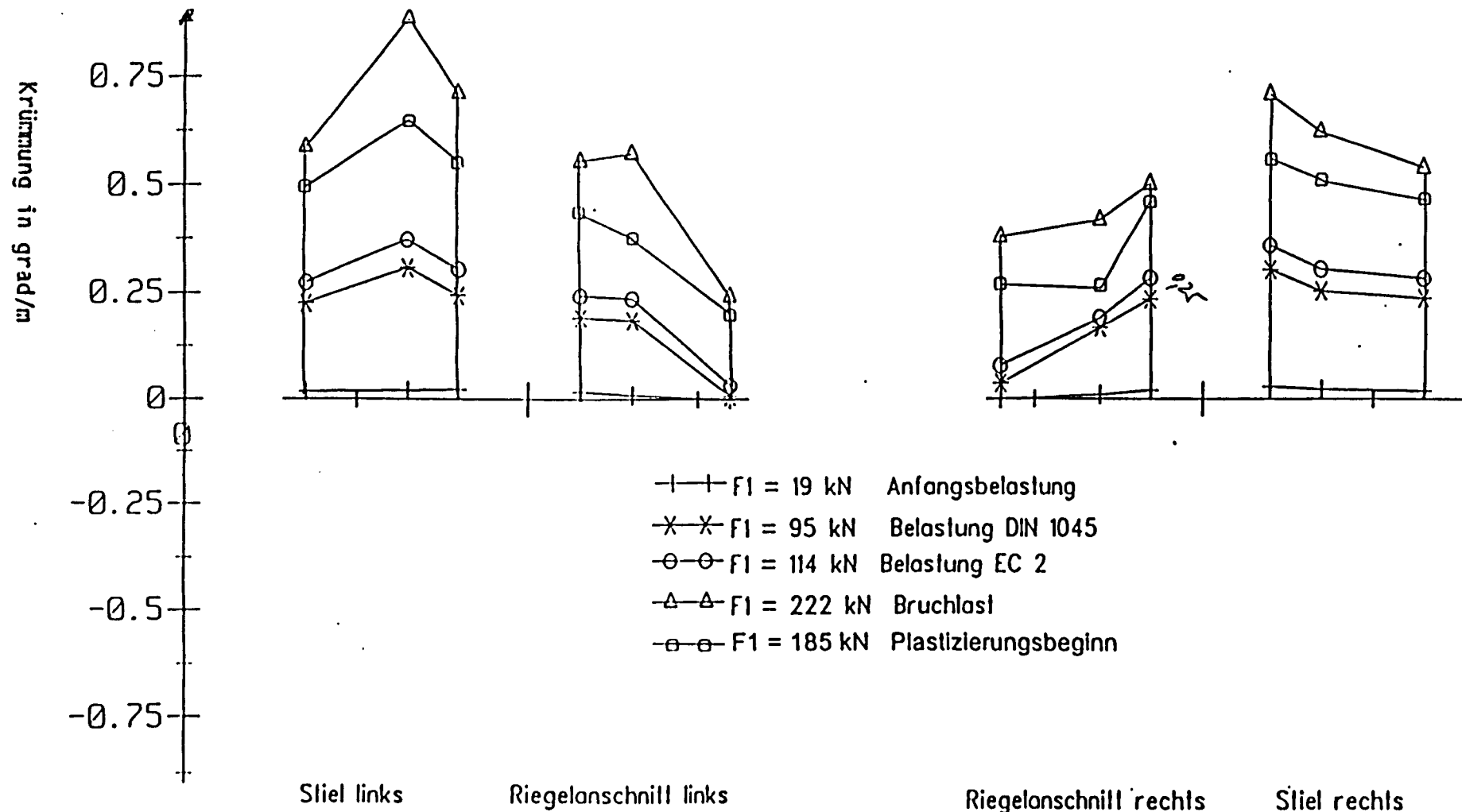
Bild 2.29



# Winkeländerung der Stabachsen - (Knotendrehung)

## Versuchsrahmen II





20 21

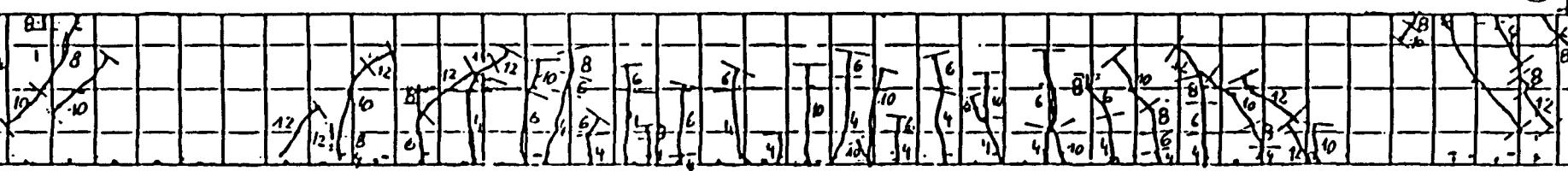
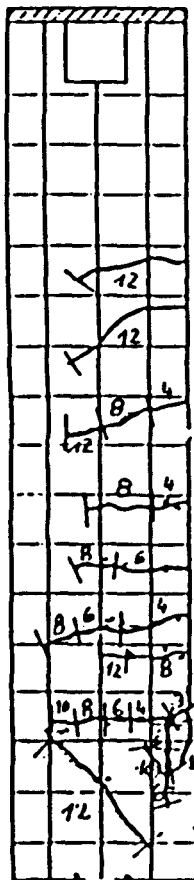
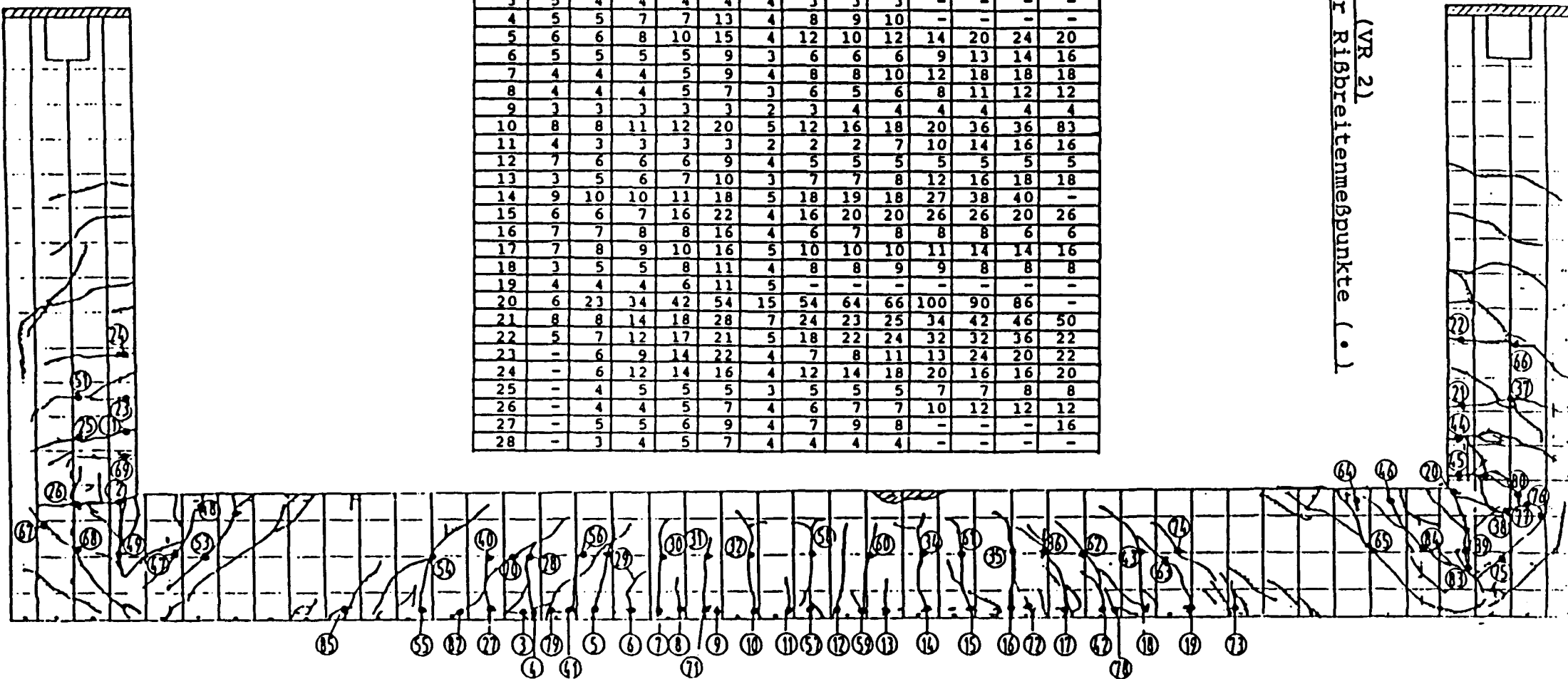


Bild 2.34

Riss	Laststufe													
	4	6	8	10	12	14	29	31	34	37	40	43	48	
	Belastung in kN													
	38	57	76	90	114	0	95	114	143	171	199	211	222	
Rissbreite in 1/100 mm														
1	5	6	7	7	10	4	8	9	10	11	14	14	16	
2	5	7	14	16	20	5	18	22	24	32	40	54	67	
3	5	4	4	4	4	4	3	3	3	-	-	-	-	
4	5	5	7	7	13	4	8	9	10	-	-	-	-	
5	6	6	8	10	15	4	12	10	12	14	20	24	20	
6	5	5	5	5	9	3	6	6	6	9	13	14	16	
7	4	4	4	4	5	9	4	8	8	10	12	18	18	
8	4	4	4	4	5	7	3	6	5	6	8	11	12	
9	3	3	3	3	3	3	2	3	4	4	4	4	4	
10	8	8	11	12	20	5	12	16	18	20	36	36	83	
11	4	3	3	3	3	3	2	2	2	7	10	14	16	
12	7	6	6	6	9	4	5	5	5	5	5	5	5	
13	3	5	6	7	10	3	7	7	8	12	16	18	18	
14	9	10	10	11	18	5	18	19	18	27	38	40	-	
15	6	6	7	16	22	4	16	20	20	26	26	20	26	
16	7	7	8	8	16	4	6	7	8	8	8	6	6	
17	7	8	9	10	16	5	10	10	10	11	14	14	16	
18	3	5	5	8	11	4	8	8	9	9	8	8	8	
19	4	4	4	6	11	5	-	-	-	-	-	-	-	
20	6	23	34	42	54	15	54	64	66	100	90	86	-	
21	8	8	14	18	28	7	24	23	25	34	42	46	50	
22	5	7	12	17	21	5	18	22	24	32	32	36	22	
23	-	6	9	14	22	4	7	8	11	13	24	20	22	
24	-	6	12	14	16	4	12	14	18	20	16	16	20	
25	-	4	5	5	5	3	5	5	5	7	7	8	8	
26	-	4	4	5	7	4	6	7	7	10	12	12	12	
27	-	5	5	6	9	4	7	9	8	-	-	-	16	
28	-	3	4	5	7	4	4	4	4	-	-	-	-	

Gesamtribbild (VR 2)  
mit Angabe der Ribbreitenmeßpunkte (•)



## Versuchsrahmen 2

Riss	Laststufe												
	4	6	8	10	12	14	29	31	34	37	40	43	48
	Belastung in kN												
	38	57	76	90	114	0	95	114	143	171	199	211	222
	Rissbreite in 1/100 mm												
29	-	4	5	6	7	3	9	9	10	12	16	16	10
30	-	3	4	5	7	3	7	7	8	9	13	16	18
31	-	3	4	4	5	3	5	5	5	6	9	9	12
32	-	3	3	4	5	2	4	5	5	6	8	10	38
33	-	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	4	4
34	-	3	3	3	5	2	5	5	5	7	10	12	56
35	-	4	5	5	8	3	9	9	10	10	8	10	10
36	-	3	4	4	5	3	4	4	5	16	22	28	28
37	-	4	5	6	9	3	8	14	8	7	7	8	5
38	-	5	8	12	14	6	10	9	10	13	18	22	24
39	-	3	4	5	5	3	8	8	8	8	8	12	20
40	-	-	3	3	3	2	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	3	3	4	2	4	4	6	6	6	6	6
42	-	-	5	8	13	4	10	10	11	9	9	10	10
43	-	-	3	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2
44	-	-	3	4	7	3	5	6	6	5	5	4	4
45	-	-	2	3	5	2	4	4	4	4	4	4	2
46	-	-	3	5	7	3	7	7	11	11	16	16	18
47	-	-	2	4	6	3	6	6	7	9	16	15	10
48	-	-	5	5	5	3	5	5	5	6	5	6	11
49	-	-	3	5	6	3	4	4	4	4	5	5	8
50	-	-	5	5	6	3	5	5	6	8	8	8	7
51	-	-	3	4	8	3	7	8	11	12	14	14	14
52	-	-	-	4	11	5	11	10	12	16	16	24	24
53	-	-	-	3	8	4	7	7	8	12	20	18	18
54	-	-	-	5	13	5	13	13	14	20	21	22	24
55	-	-	-	4	6	3	-	-	-	-	-	-	-
56	-	-	-	3	5	2	5	5	5	7	7	7	6
57	-	-	-	4	7	2	5	5	5	6	7	16	34
58	-	-	-	4	4	2	4	4	4	4	8	24	34
59	-	-	-	4	5	2	5	5	6	8	16	18	20
60	-	-	-	4	5	3	5	5	5	7	10	12	14
61	-	-	-	3	6	2	6	6	6	8	18	16	22
62	-	-	-	3	7	3	11	11	15	18	24	32	26
63	-	-	-	4	21	5	16	16	20	28	26	26	22
64	-	-	-	4	4	2	3	4	4	4	5	4	4
65	-	-	-	16	22	6	22	22	22	25	42	42	80
66	-	-	-	4	5	3	4	5	5	5	4	4	4
67	-	-	-	-	5	4	5	5	5	6	7	9	10
68	-	-	-	-	6	3	6	7	11	12	18	18	20
69	-	-	-	-	7	3	6	8	8	10	12	12	12
70	-	-	-	-	9	3	13	13	14	-	-	-	-
71	-	-	-	-	12	3	10	10	12	16	21	24	24
72	-	-	-	-	9	3	7	7	11	13	18	20	20
73	-	-	-	-	13	5	13	11	15	15	16	14	17
74	-	-	-	-	9	5	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	10	5	8	8	11	10	16	20	20
76	-	-	-	-	-	-	-	5	5	6	6	3	6
77	-	-	-	-	-	-	-	6	7	5	6	2	5
78	-	-	-	-	-	-	-	4	5	7	8	7	7
79	-	-	-	-	-	-	-	9	12	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-	-	-	8	11	18	4	22	38
81	-	-	-	-	-	-	-	4	5	5	5	5	3
82	-	-	-	-	-	-	-	5	5	5	6	6	5
83	-	-	-	-	-	-	-	-	12	22	22	24	25
84	-	-	-	-	-	-	-	-	10	18	24	28	10
85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	11	8

Bild 2.35

		Rotationsbereich I	Rotationsbereich III
VR II	F 1 kN	mit Schrägstab (links) rad $10^{-3}$	ohne Schrägstab (rechts) rad $10^{-3}$
Gebrauchslast	114		
Knotendrehung nach E-Theorie, Zust.I	114	1,42	1,42
gemessene Knoten- drehung	114	6,58	5,68
Winkeländerung gegenüber 90°	114	0,88	0,99
max. Rißbreite mm		0,22	0,62

Bruchlast			
Knotendrehung nach E-Theorie, Zust.I	226	2,83	2,83
gemessene Knoten- drehung	226	17,4	19,8
Winkeländerung gegenüber 90°	226	0,245	4,07
max. Rißbreite mm		0,65	1,0

Die Mittendurchbiegungen betrugen:

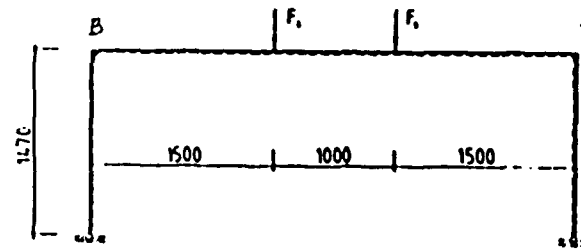
unter Gebrauchslast vor Schwellbelastung:	10,6 mm (95 kN)
unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung:	13,2 mm (95 kN)
im Versagenszustand	> 40,0 mm

Bild 2.36: VR II, Knotenverformungen und max. Rißbreiten





## Versuchsrahmen III



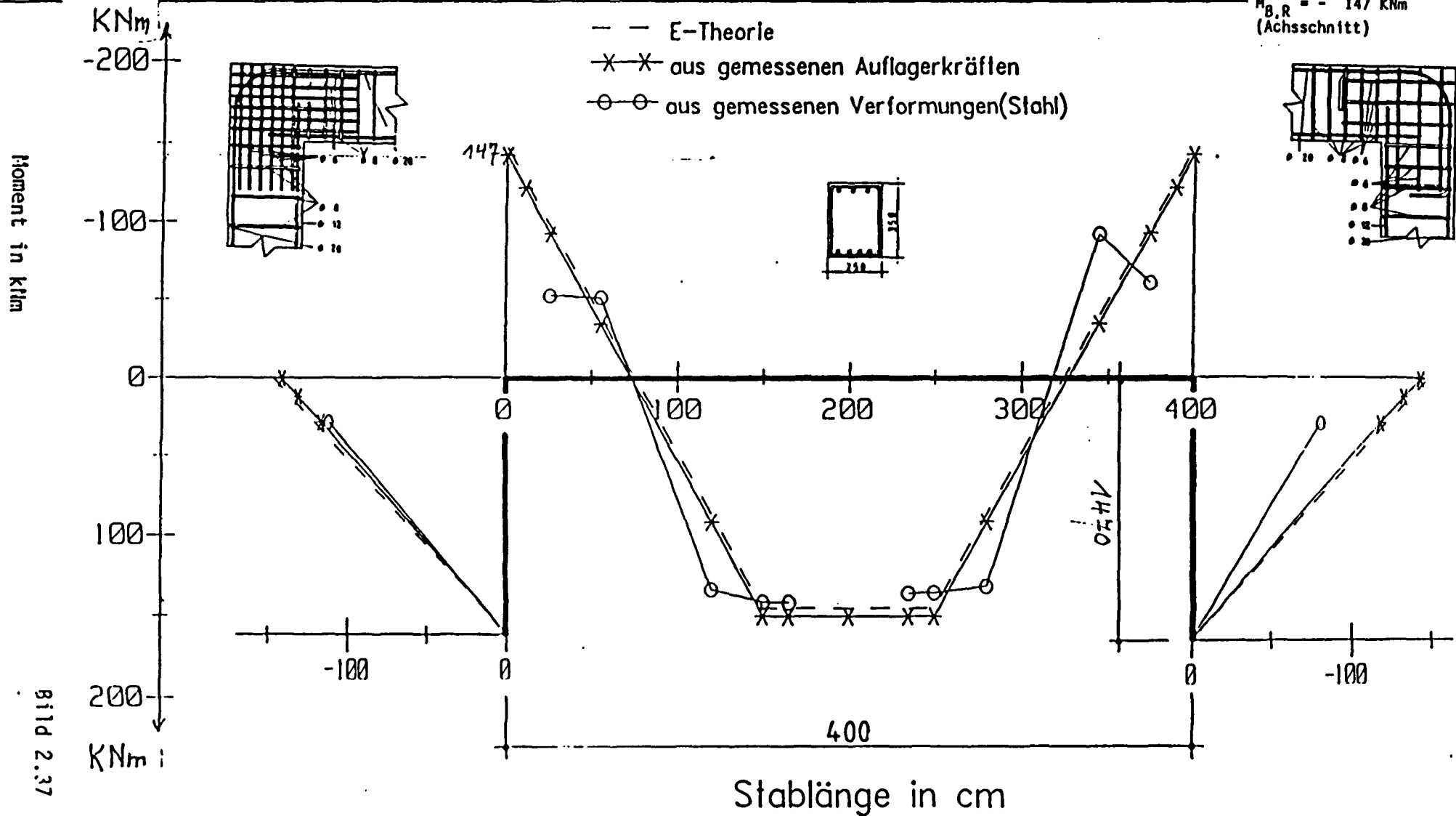
## Laststufe 14

## Gebrauchslast

**F1 = 196 kN**

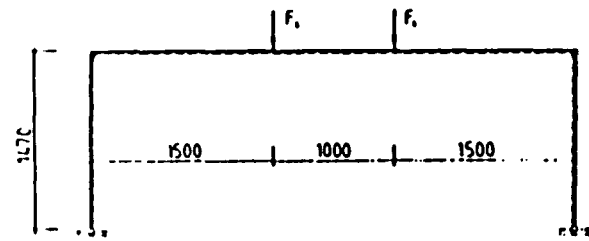
$M_{B,R} = + 125 \text{ KNm}$   
(Schnitt 1-1, Bild 2.8)

$M_{B,R} = - 147 \text{ KNm}$   
(Achsschnitt)



Momentenverlauf

Versuchsrahmen III

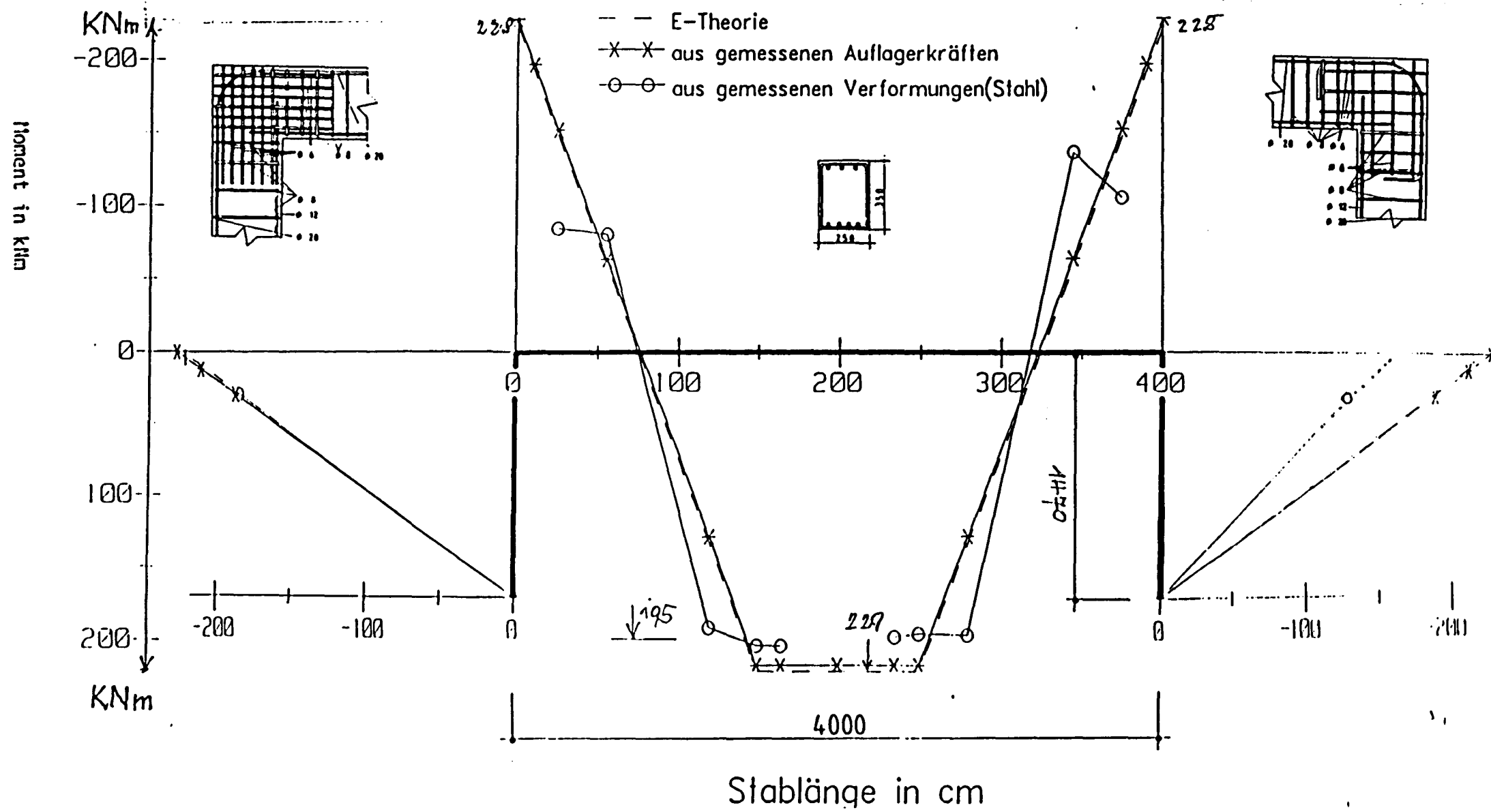


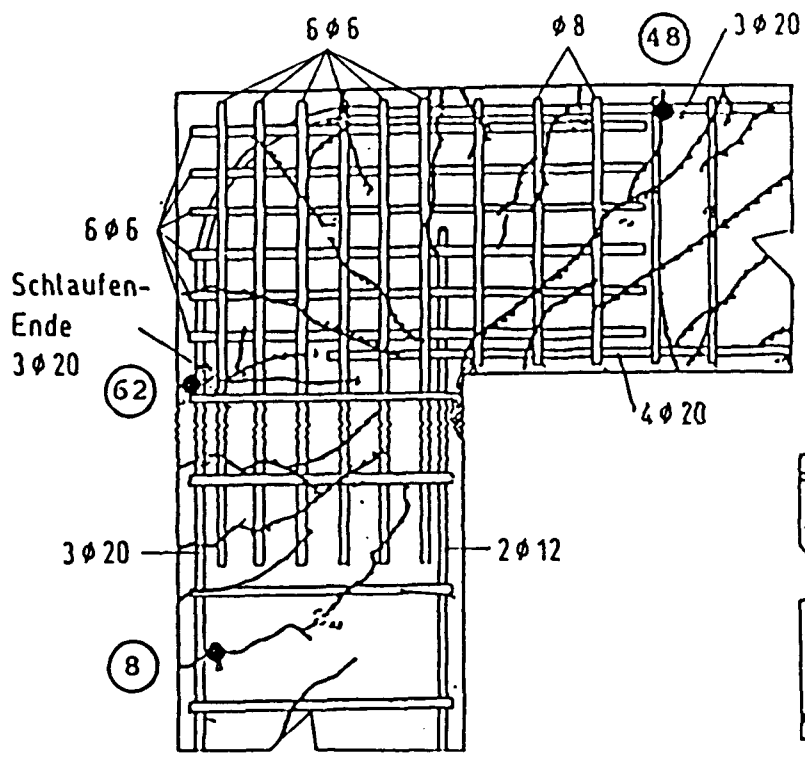
Laststufe 44

BRUCHLAST

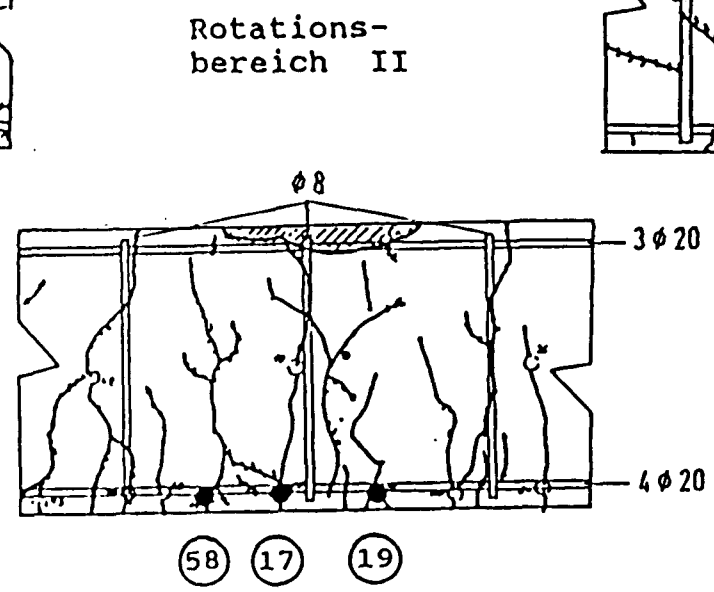
$F_1 = 304 \text{ kN}$

$M_{U,T} = -195 \text{ KNm}$   
 $M_{U,R} = -193 \text{ KNm (Bild 2.8)}$

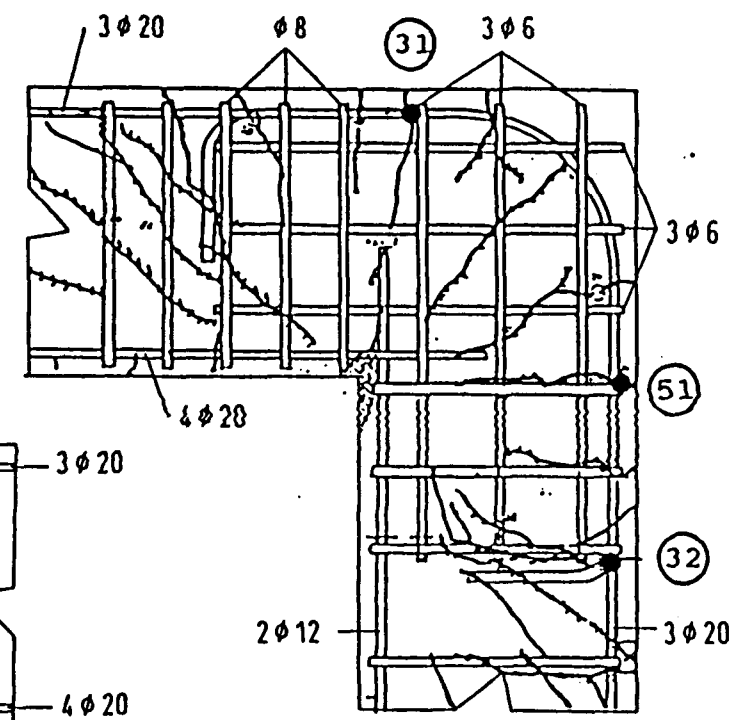




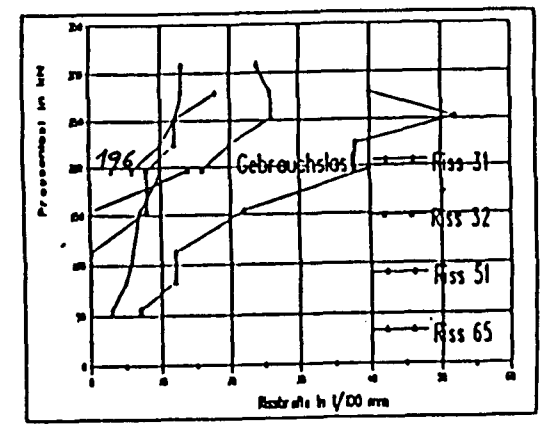
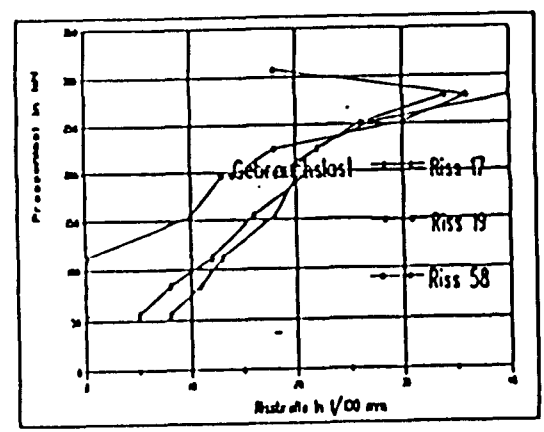
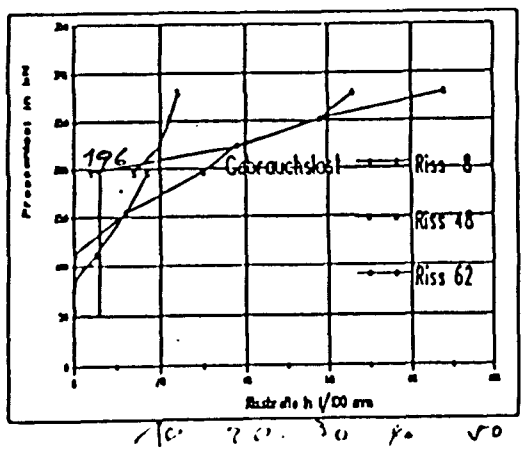
Rotationsbereich I



Rotationsbereich II



Rotationsbereich III



# Verformung am Versuchsrahmen

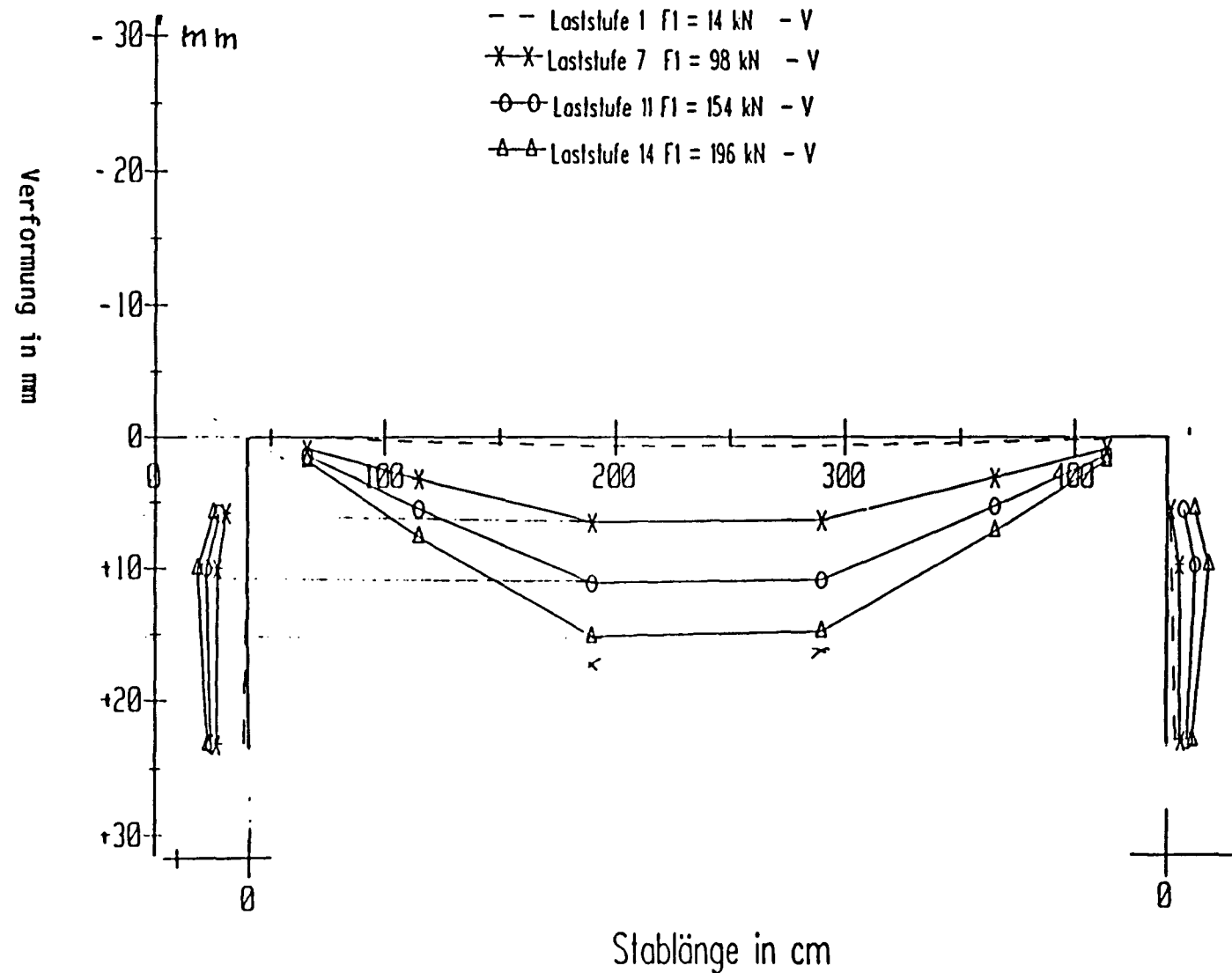
Schwellbelastung mit 10000 Lastwechsel ( $F_u=92 \text{ kN}$ ,  $F_o=169.0 \text{ kN}$ ,  $f=0.2 \text{ Hz}$ )

Dauerbelastung mit  $F_d = 154 \text{ kN}$  Belastungszeit 24 h

## Versuchsrahmen III

V - vor Schwell- und Dauerbelastung

N - nach Schwell- und Dauerbelastung



# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen III

10fache Vergrößerung der Verformung  
an den Stielen

vor bzw. nach Schwell- und Dauerbelastung

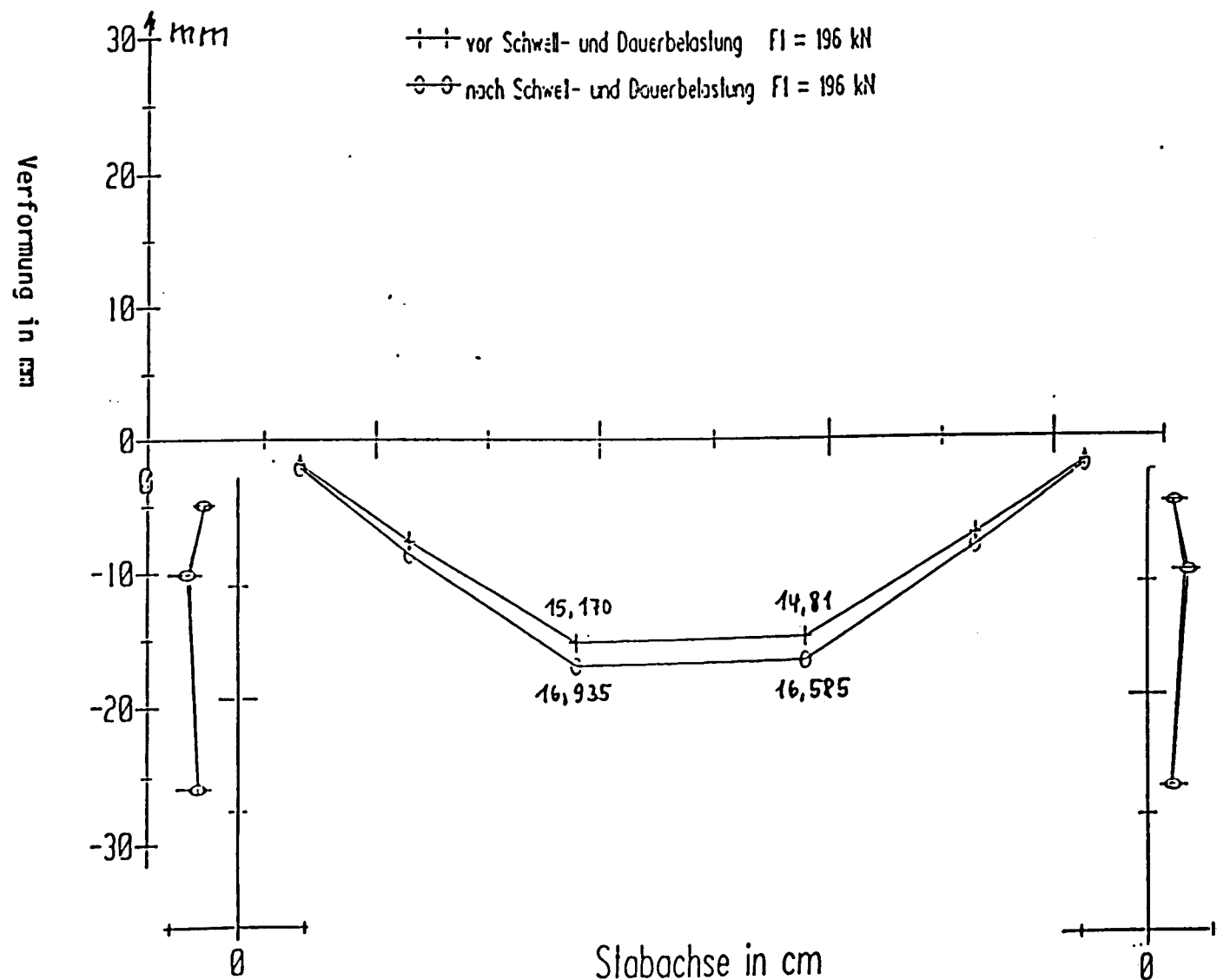


Bild 2.41

2.51

# Verformung am Versuchsrahmen

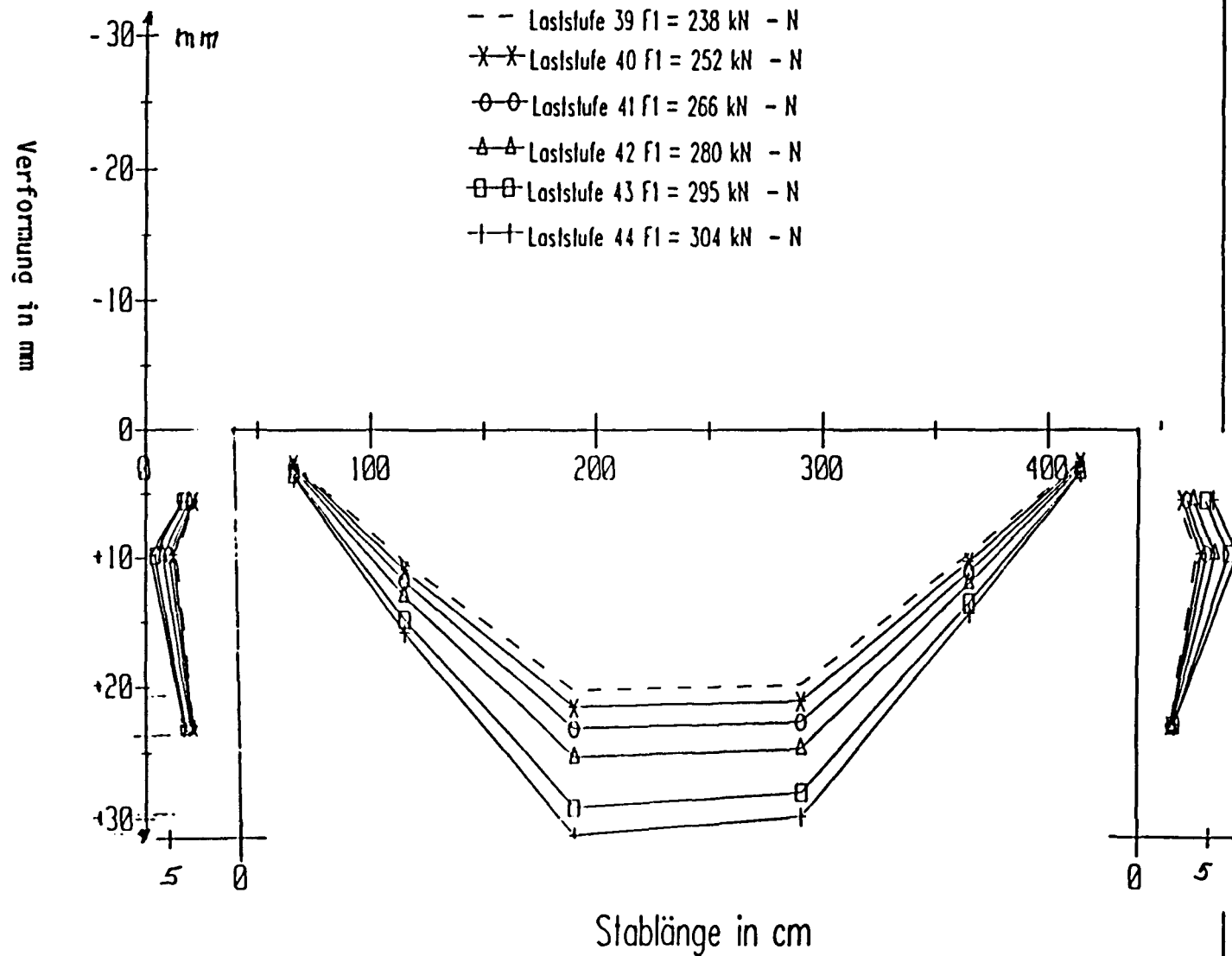
Schwellbelastung mit 10000 Lastwechsel( $F_u=92$  kN,  $F_o=169.0$  kN,  $f=0.2$  Hz)

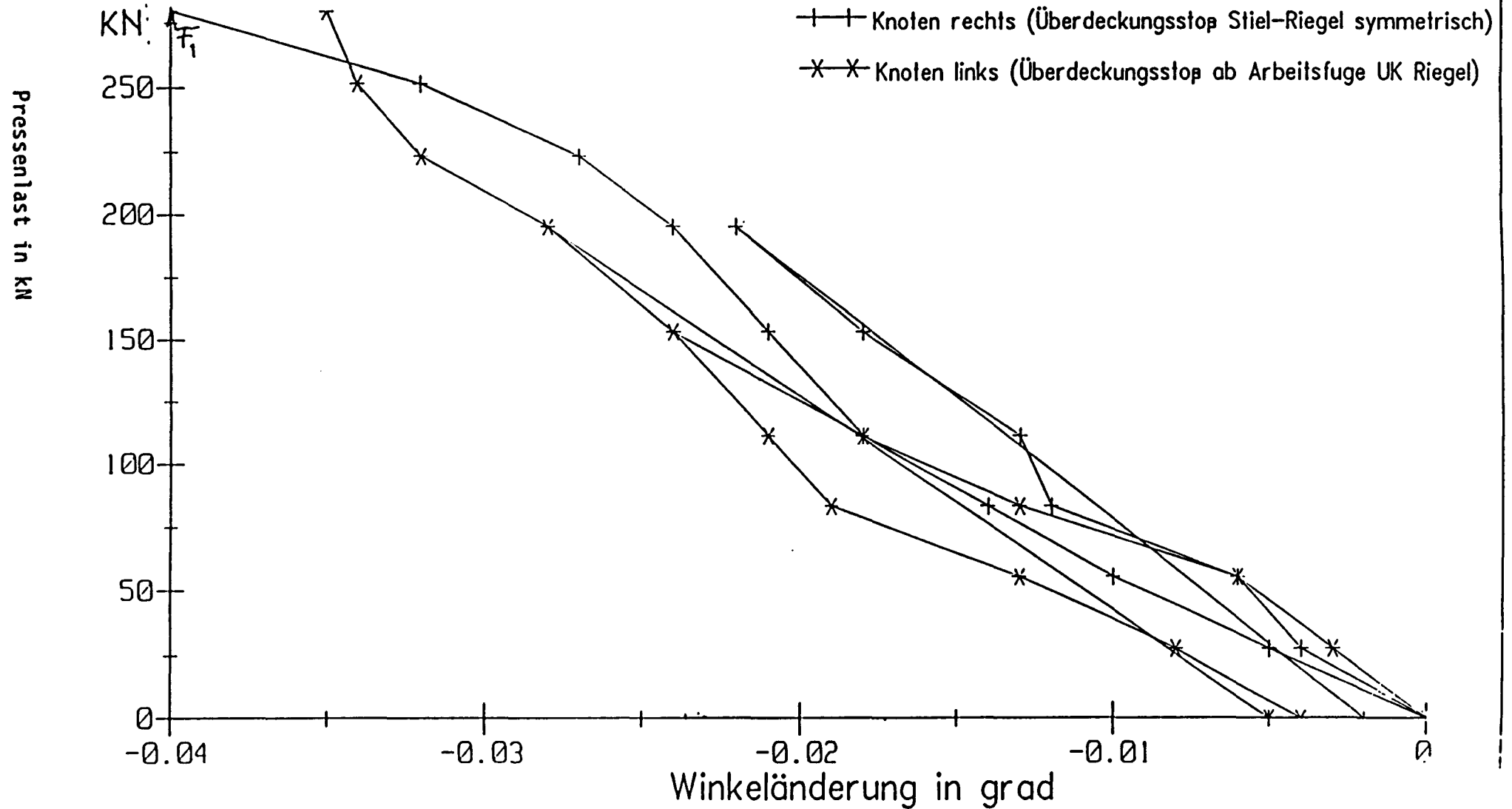
Dauerbelastung mit  $F_d = 154$  kN Belastungszeit 24 h

## Versuchsrahmen III

V - vor Schwell- und Dauerbelastung

N - nach Schwell- und Dauerbelastung



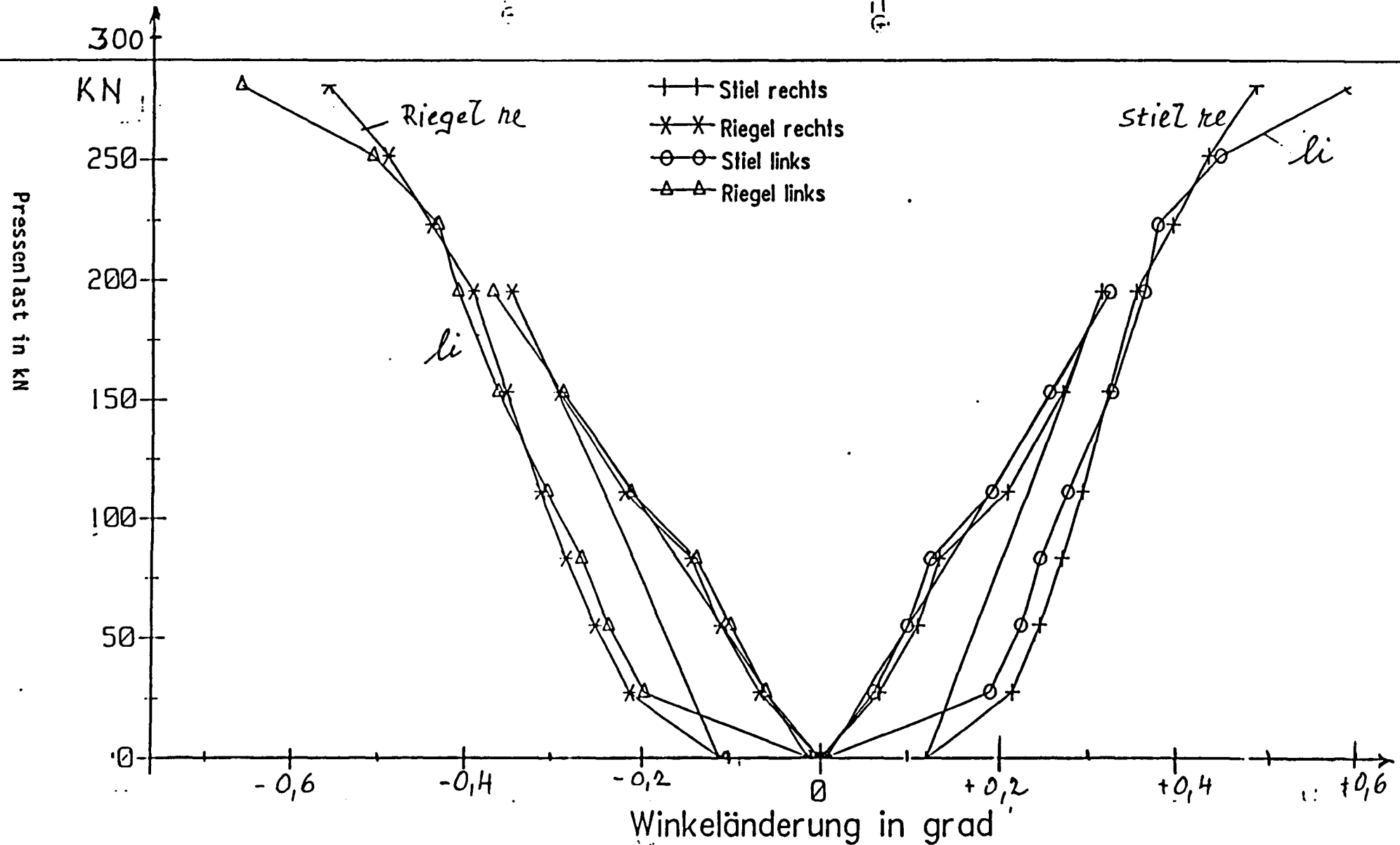
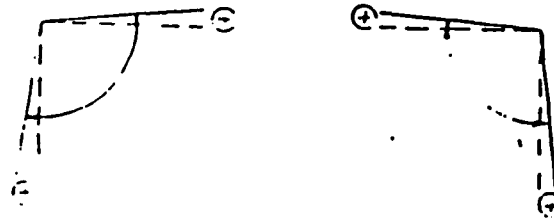


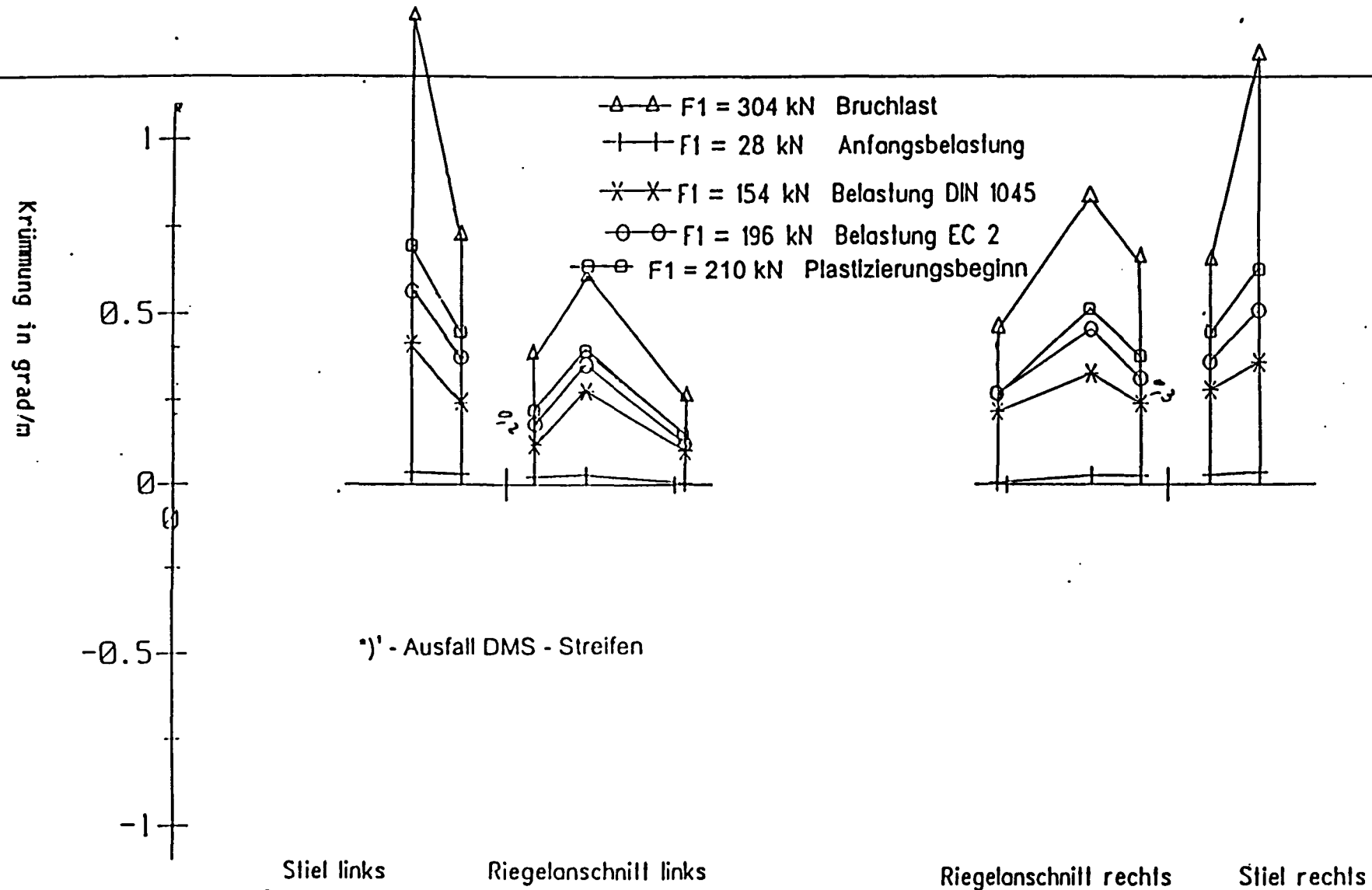


# Winkeländerungen Stabachsen

Knotendrehung  $\varphi$

## Versuchsrahmen III





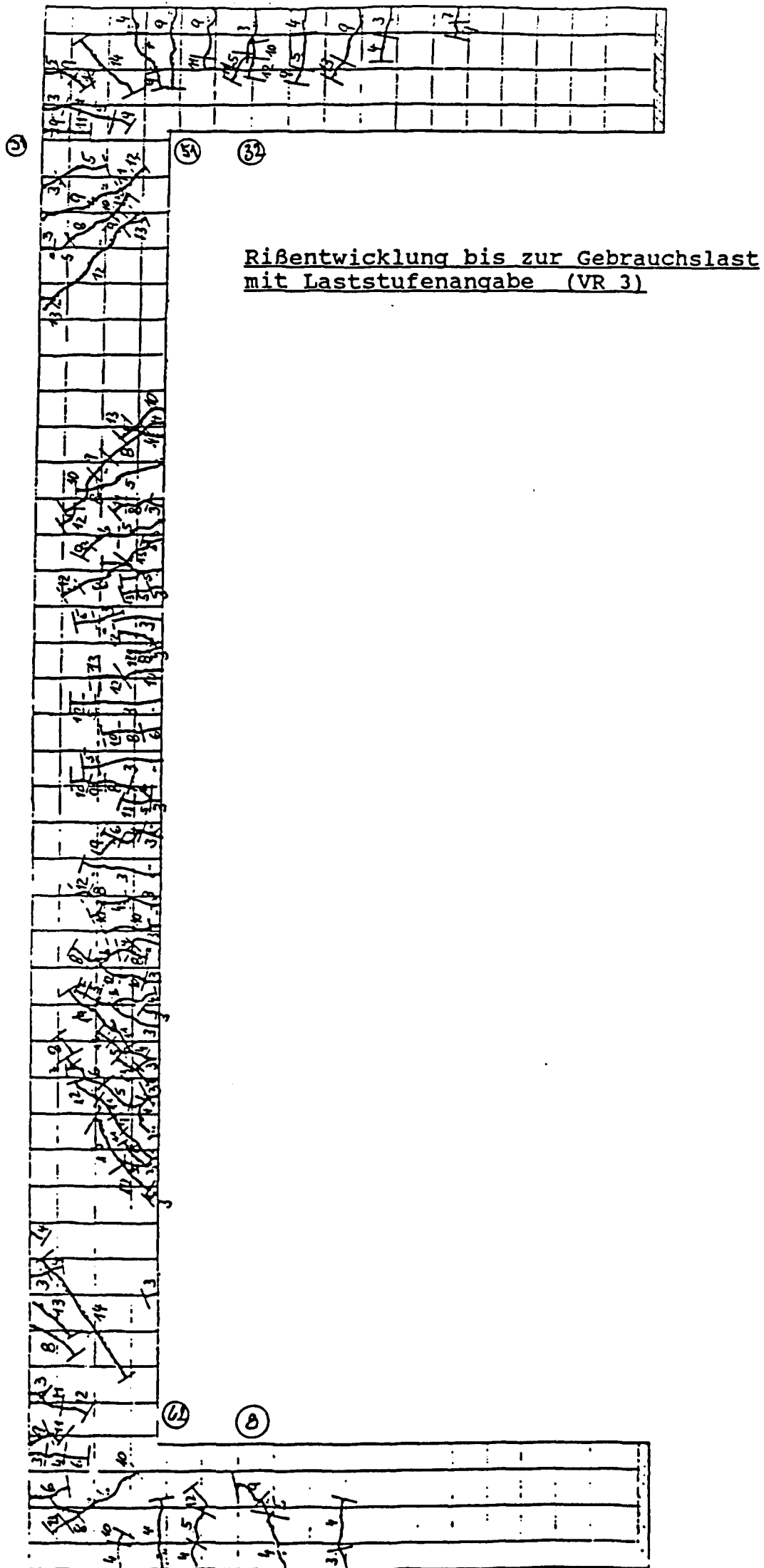
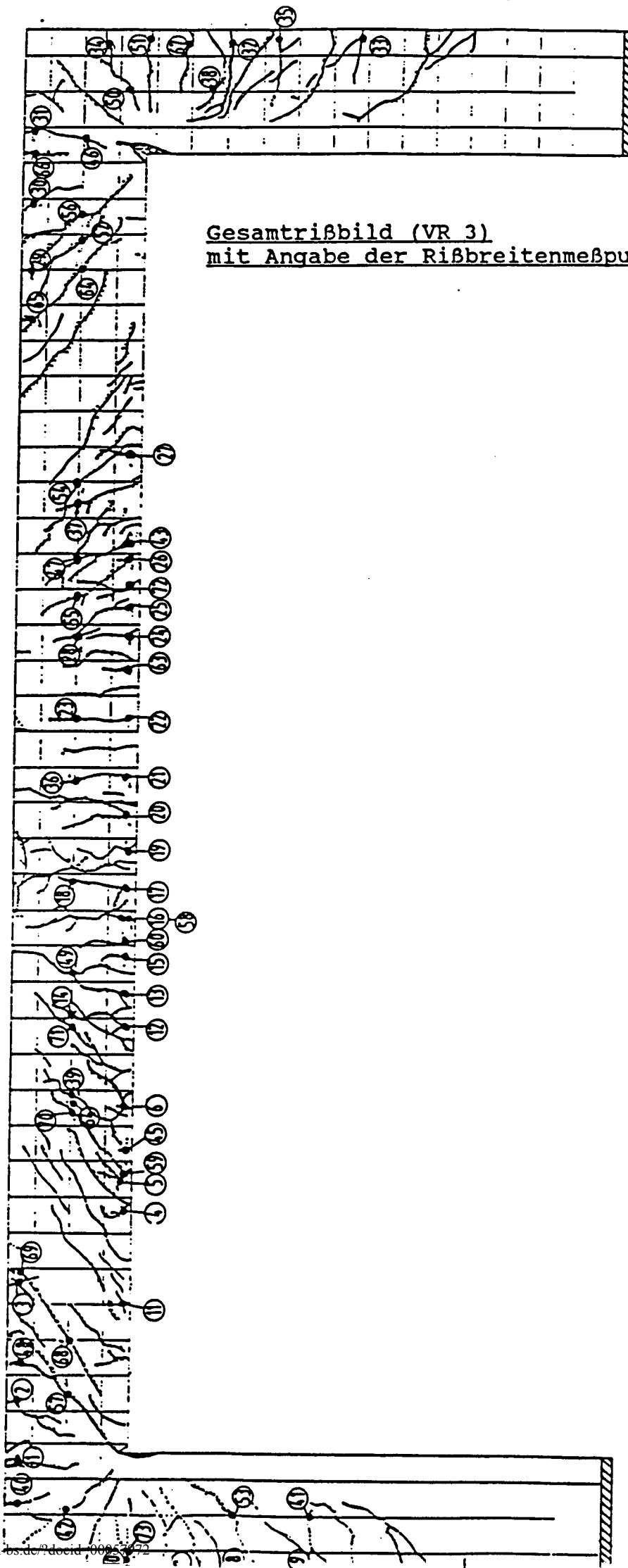


Bild 2.46



Gesamtrißbild (VR 3)  
mit Angabe der Rißbreitenmeßpunkte (•)

Bild 2.47

## Versuchsrahmen 3

Riss	Laststufe															
	4	6	8	12	14	15	22	24	26	28	30	33	36	38	40	42
	Belastung in kN															
	56	84	112	154	196	0	0	28	56	84	112	154	196	224	252	280
	Rissbreite in 1/100 mm															
1	4	5	6	6	5	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4
2	3	3	3	3	3	2	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
3	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	3	4	4	4	6	4	4	4	5	5	5	6	7	7	7	7
5	3	3	3	4	4	2	1	1	2	2	2	2	4	4	4	4
6	4	4	5	12	12	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	5	8	11	14	15	2	3	4	6	6	8	10	14	18	20	24
8	6	6	6	6	6	4	3	3	3	3	4	4	4	40	58	66
9	6	8	10	14	20	6	5	6	6	8	8	10	11	16	20	36
10	6	6	5	5	5	4	3	3	3	3	3	3	3	-	-	-
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
12	8	10	12	14	15	6	6	7	8	8	8	14	14	16	20	22
13	8	9	10	14	14	6	3	3	4	4	4	4	5	7	8	8
14	5	8	11	20	17	6	6	6	6	7	7	10	12	14	10	12
15	7	9	11	14	16	4	4	5	6	6	6	12	14	18	24	24
16	3	4	4	4	4	-	-	-	-	-	1	2	2	2	2	2
17	8	11	13	18	20	4	4	5	5	6	7	16	18	22	26	34
18	5	6	6	8	8	4	4	5	5	5	6	6	6	8	8	8
19	5	8	12	16	21	4	4	5	7	8	11	18	19	22	27	40
20	4	4	5	5	6	2	2	2	4	4	7	8	9	12	16	22
21	6	8	12	18	18	4	4	5	6	7	12	14	18	19	24	52
22	9	11	13	16	18	4	4	5	5	8	8	14	16	20	24	30
23	4	4	6	6	7	2	2	3	4	4	4	4	4	6	8	8
24	6	8	8	14	15	3	3	4	5	5	9	12	16	18	20	20
25	4	5	7	7	7	1	1	2	2	2	3	4	4	8	8	13
26	3	3	3	4	5	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4
27	2	3	4	6	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	4	5	7	8	11	3	3	4	6	6	6	12	14	15	24	24
29	4	4	4	5	5	2	-	-	1	1	2	3	4	4	4	4
30	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4
31	3	5	6	7	10	4	4	4	4	4	4	4	6	10	12	18
32	7	12	12	22	40	8	8	8	13	16	22	34	38	38	52	40
33	6	9	12	14	12	4	5	5	5	7	8	8	10	10	12	16
34	3	4	4	6	8	3	4	4	4	5	6	7	12	12	16	18
35	4	8	14	16	18	3	3	3	4	5	6	6	9	11	12	6
36	-	4	4	5	5	2	1	2	2	2	2	3	4	4	5	14
37	-	4	6	6	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
39	-	6	6	6	4	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
40	-	3	3	5	7	2	2	2	2	3	4	6	6	8	8	10
41	-	3	4	4	4	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4
42	-	4	6	8	10	4	4	4	5	5	5	7	10	12	14	14
43	-	4	11	14	19	6	6	7	10	12	12	14	22	22	26	28
44	-	8	12	20	21	8	7	8	8	8	8	8	8	8	30	30
45	-	4	4	6	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	3	5	6	6	6
47	-	-	5	10	16	6	5	6	6	7	8	11	14	16	16	20
48	-	-	5	12	17	10	3	3	5	6	6	6	14	20	22	24
49	-	-	4	7	10	2	2	2	2	3	4	4	5	5	8	18
50	-	-	4	6	6	4	4	4	4	4	4	5	5	5	7	7
51	-	-	-	8	8	2	2	2	3	4	6	7	8	12	12	13
52	-	-	-	10	14	6	5	5	5	6	11	16	19	20	26	22
53	-	-	-	10	16	4	4	5	5	6	10	14	13	22	24	38
54	-	-	-	14	21	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	-	-	-	4	12	4	4	5	5	6	6	6	8	12	12	15
56	-	-	-	5	6	4	4	4	4	4	4	5	6	8	8	11
57	-	-	-	14	15	6	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8
58	-	-	-	10	13	2	2	3	5	8	8	14	14	18	30	36
59	-	-	-	12	16	6	6	6	8	10	10	12	14	18	20	22
60	-	-	-	7	9	-	-	1	2	3	4	6	8	12	14	18
61	-	-	-	14	14	4	5	5	6	6	7	10	12	14	14	16
62	-	-	-	12	30	6	5	5	7	8	12	22	30	38	58	88
63	-	-	-	5	10	2	2	2	3	4	5	8	12	12	18	24
64	-	-	-	-	15	4	4	6	8	10	12	12	18	22	32	32
65	-	-	-	-	14	6	4	6	6	6	6	12	16	20	26	26
66	-	-	-	-	8	1	2	2	2	3	6	6	10	10	12	16
67	-	-	-	-	7	3	3	3	4	4	5	6	7	8	8	8
68	-	-	-	-	16	6	6	6	8	8	12	12	16	18	22	26
69	-	-	-	-	5	4	3	3	4	4	5	5	6	7	8	16
70	-	-	-	-	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	-	-	-	-	9	4	6	6	8	10	11	14	20	26	30	32
72	-	-	-	-	12	6	3	4	5	8	10	12	16	18	20	20
73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	40	44

		Rotationsbereich I	Rotationsbereich III
<b>VR III</b>	<b>F 1 kN</b>	<b>ohne Schrägstab (links) rad 10<sup>-3</sup></b>	<b>ohne Schrägstab (rechts) rad 10<sup>-3</sup></b>
<b>Gebrauchslast</b>			
<b>Knotendrehung nach E-Theorie, Zust.I</b>	<b>196</b>	<b>2,43</b>	<b>2,43</b>
<b>gemessene Knoten- drehung</b>	<b>196</b>	<b>- 7,02</b>	<b>- 7,02</b>
<b>Winkeländerung gegenüber 90°</b>	<b>196</b>	<b>- 0,488</b>	<b>- 0,385</b>
<b>max. Rißbreite mm</b>	<b>196</b>	<b>0,30</b>	<b>0,38</b>

<b>Bruchlast</b>			
<b>Knotendrehung nach E-Theorie, Zust.I</b>	<b>304</b>	<b>- 3,77</b>	<b>- 3,77</b>
<b>gemessene Knoten- drehung</b>	<b>304</b>	<b>- 13,6</b>	<b>- 13,4</b>
<b>Winkeländerung gegenüber 90°</b>	<b>304</b>	<b>- 0,61</b>	<b>- 0,695</b>
<b>max. Rißbreite mm</b>	<b>304</b>	<b>0,87</b>	<b>0,52</b>

Die Mittendurchbiegungen betrugen:

unter Gebrauchslast vor Schwellbelastung:	15,0 mm
unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung:	16,8 mm
im Versagenszustand	> 30,0 mm

Bild 2.49: VR III, Knotenverformungen und max. Rißbreiten

### 2.7.3 Versuchskörper VR IV und VR V

Die Bewehrungsführung dieser Versuchskörper entspricht im Rotationsbereich III den Empfehlungen in Heft 373 [13]. Der Anteil der Schrägbewehrung beträgt  $A_{ss} = 0,55 \cdot A_{s,2}$ . Im Rotationsbereich I - links - entfällt die Schrägbewehrung, statt dessen wurden im Bereich der Zugzone des Riegels verstärkt Steckbügel angeordnet. Der Versuchskörper VR V ist wesentlich höher bewehrt als VR IV und erhielt zusätzlich vertikale Steckbügel im Stiel. Die Bewehrungsführung wurde derart gestaltet, daß im Stiel UK Riegel eine Arbeitsfuge gebildet werden konnte. Der Überdeckungsstoß im Stiel begann ab OK Riegel.

Fließbereiche außerhalb der Steckbügelzone im VR I wiesen auf nicht ausreichende Verankerungslängen der Steckbügel hin. Daher wurden in den vorliegenden Versuchskörpern die Verankerungslängen der Steckbügel größer gewählt und der Zugkraftdeckungsline angepaßt.

Die oberen Stielenden waren gelenkig gelagert und mit einer konstanten Last  $F_2 = 300 \text{ kN}$  belastet.

Für den Rotationsbereich II erfolgte gegenüber der Berechnung nach E-Theorie eine Überbewehrung. Der Riegelquerschnitt blieb gegenüber den Versuchen VR I - VR III unverändert ( $h/b = 350/250$ ), die Stielquerschnitte hingegen wurden auf  $h/b = 300/250$  abgemindert.

Die gemessenen Knotendrehungen wurden bereits auf Bild 2.11 zusammengestellt.

Versuchskörper VR4	Gebrauchslast nach EC 2:	$F_1 = 78 \text{ kN}$
	Bruchlast:	$F_1 = 177 \text{ kN}$
	$F_2 = 300 \text{ kN}$	

Dieser Versuchskörper versagte durch Einschnüren der Biegedruckzone im Rotationsbereich II. Betonabplatzungen auf der Innenseite der Stiele unterhalb des Riegels waren noch nicht festzustellen.

Der gegenüber den Ergebnissen der E-Theorie überbewehrte Rotationsbereich II erklärt die Momentenumlagerung von den Bereichen I und III zum Bereich II. Die Verteilung des Rieglmomentes zum oberen und unteren Stiel weicht oberhalb der Gebrauchslast erheblich von der Verteilung nach der Elastizitätstheorie ab. Die positiven Momentenanteile im oberen Stiel nehmen mit höherer Belastung unproportional geringer zu gegenüber den negativen Momentenanteilen im unteren Stiel. Die unterschiedliche Anordnung der Längsbewehrung im Stiel (Überdeckungsstoß im Bereich I) läßt keine Unterschiede im Trag- und Verformungsverhalten erkennen.

Im Rotationsverhalten der Knoten I und III sind Unterschiede insofern erkennbar, als sich Bereich III mit Schrägstab steifer verhält.

Im Rotationsbereich I - ohne Schrägbewehrung - zeigten sich größere Rißbreiten als im Bereich III; Im Bereich I ergab sich nach Abschluß der Schwellbeanspruchung eine max. Rißbreite von 0,25 mm, im Bereich III ebenfalls etwa 0,25 mm. Nahe der Bruchlast erreicht die max. Rißbreite im Bereich I etwa 2,0 mm, im Bereich III nur etwa 1,1 mm (Bild 2.52). Die ersten Risse in den innenseitigen, zugbeanspruchten Ecken Riegel-oberer Stiel wurden bei  $F_1 \approx 26,0 \text{ kN}$  beobachtet.

Die Tabelle Bild 2.62 zeigt eine Zusammenstellung der Verformungen und maximalen Rißbreiten.

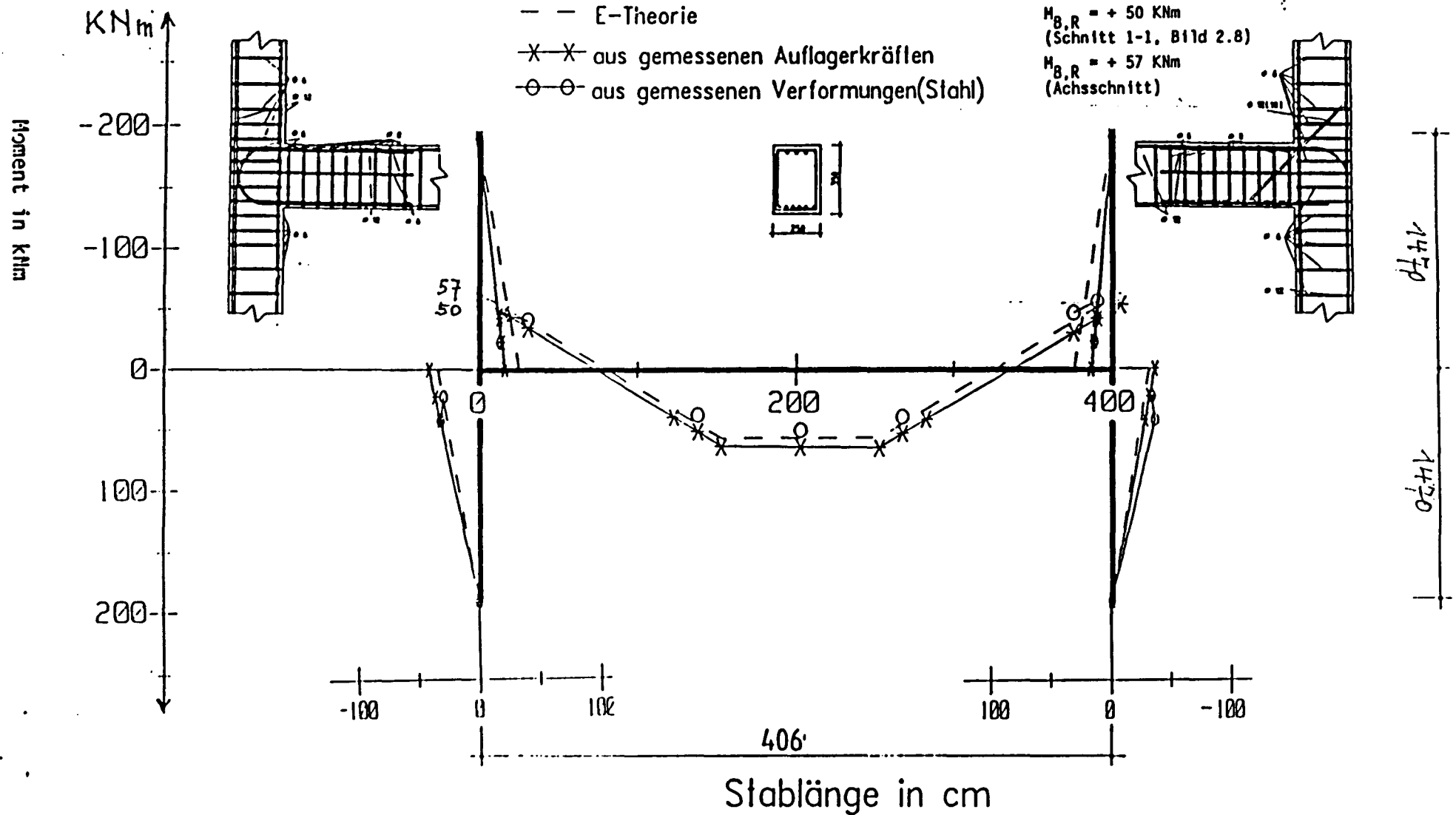
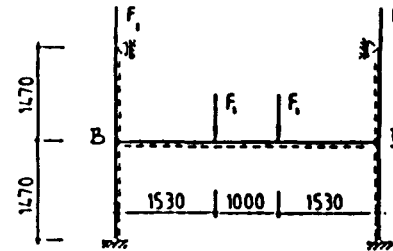


# Momentenverlauf

# Versuchsrahmen IV

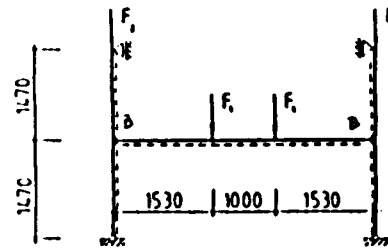
Laststufe 13 Gebrauchslast

$F_1 = 78.0 \text{ kN}$  ;  $F_2 = 300 \text{ kN}$



# Momentenverlauf

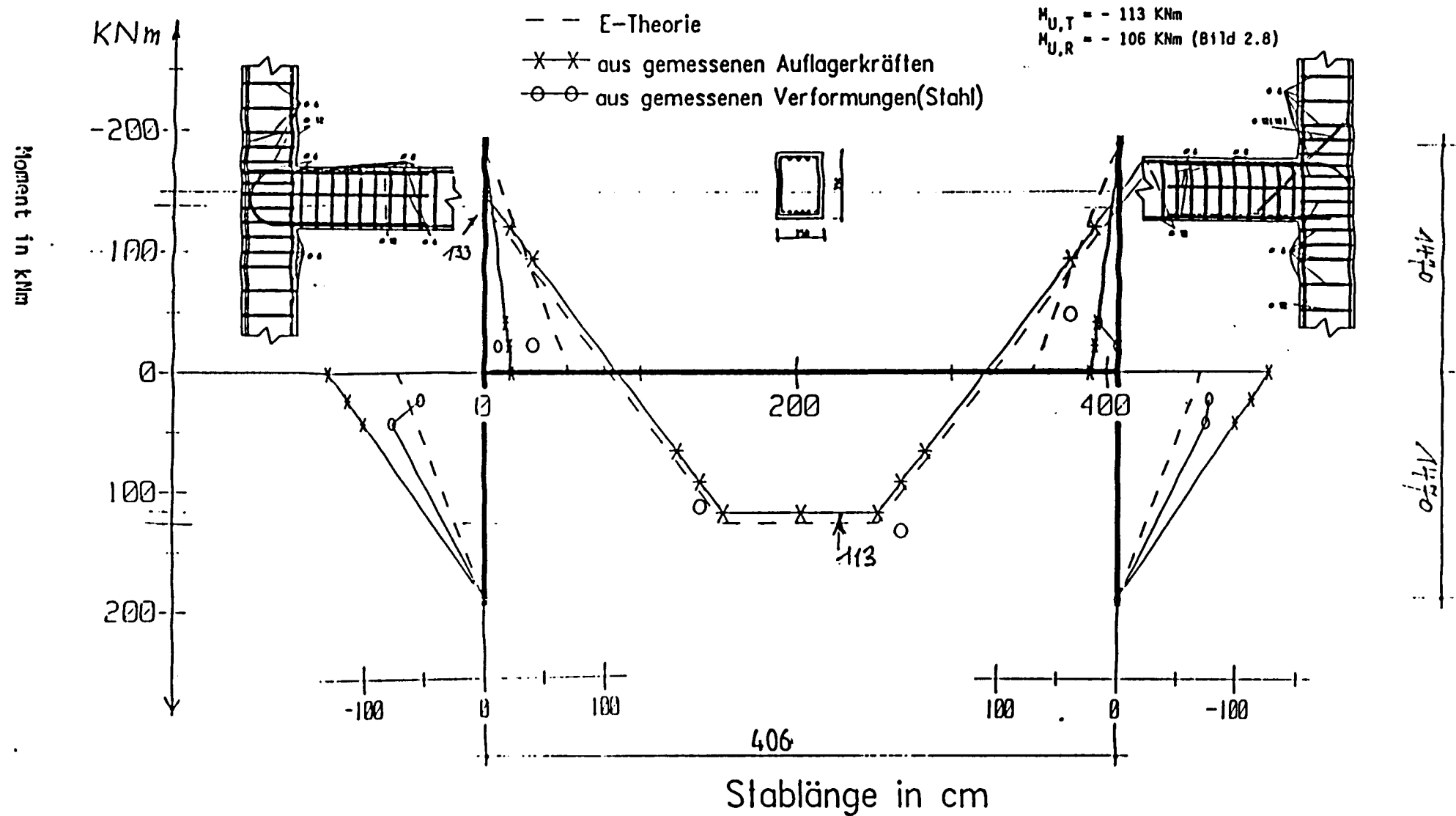
weggesteuerte Lasteintragung  
nach Schwellbelastung

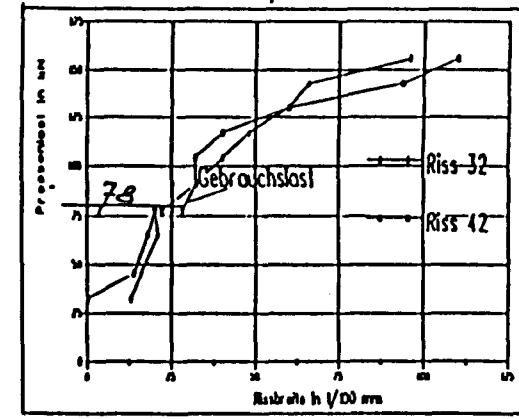
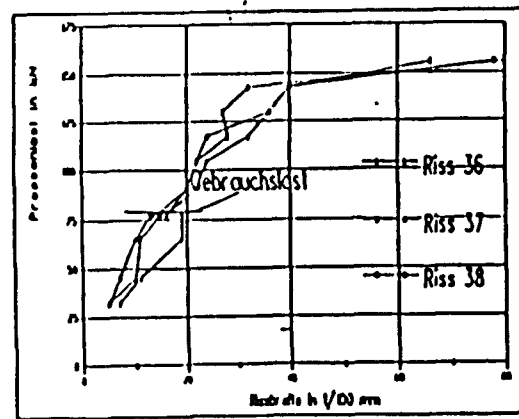
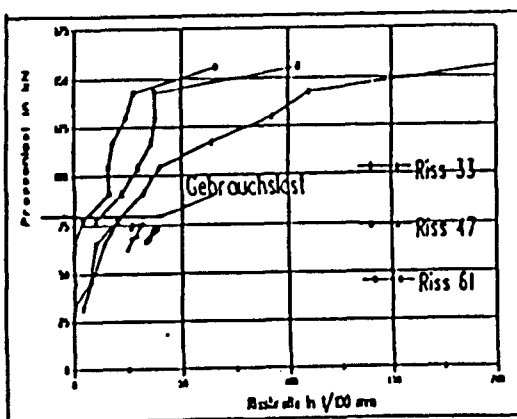
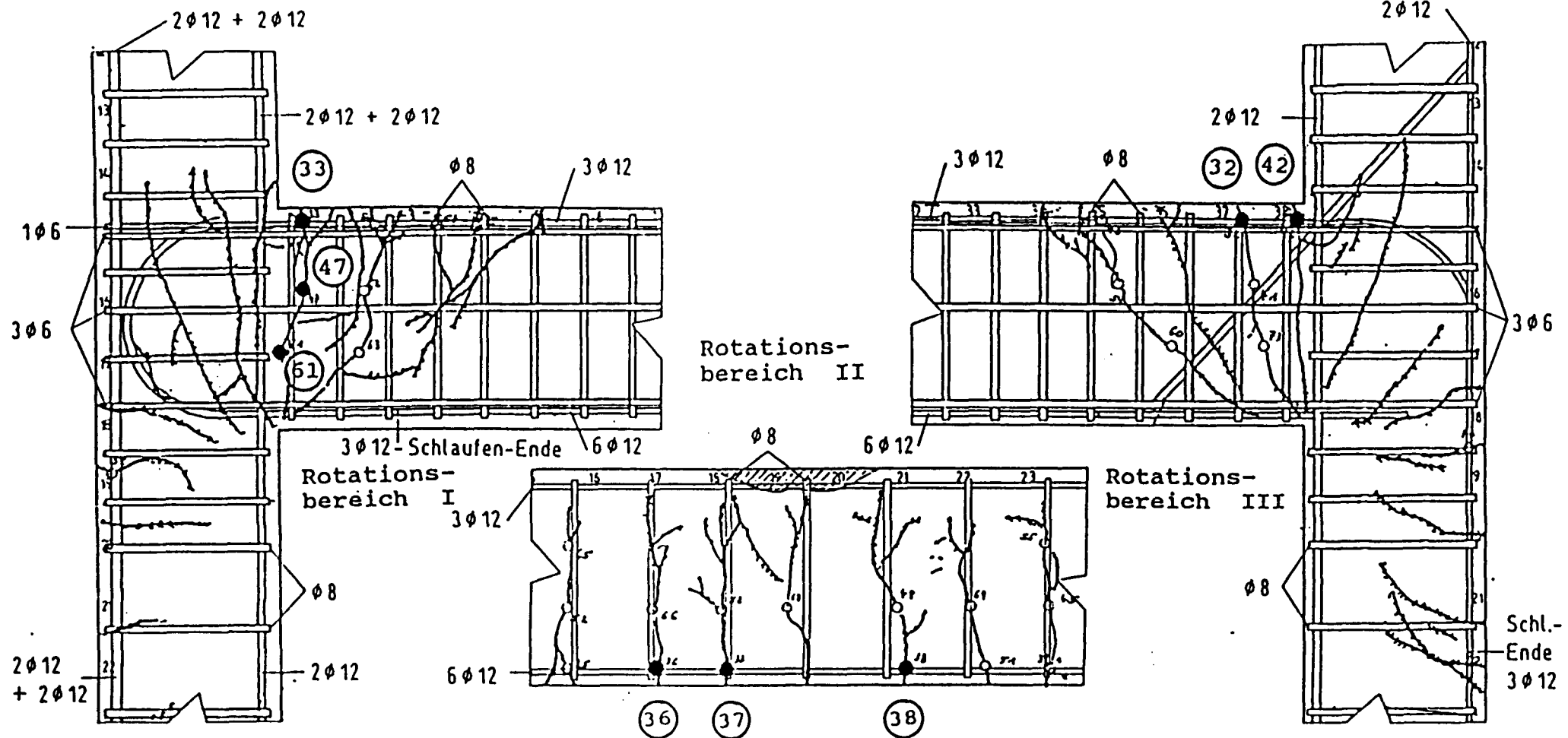


## Versuchsrahmen IV

Laststufe 56 (Bruchlast)

$F_1 = 177.0 \text{ kN}$  ;  $F_2 = 300 \text{ kN}$

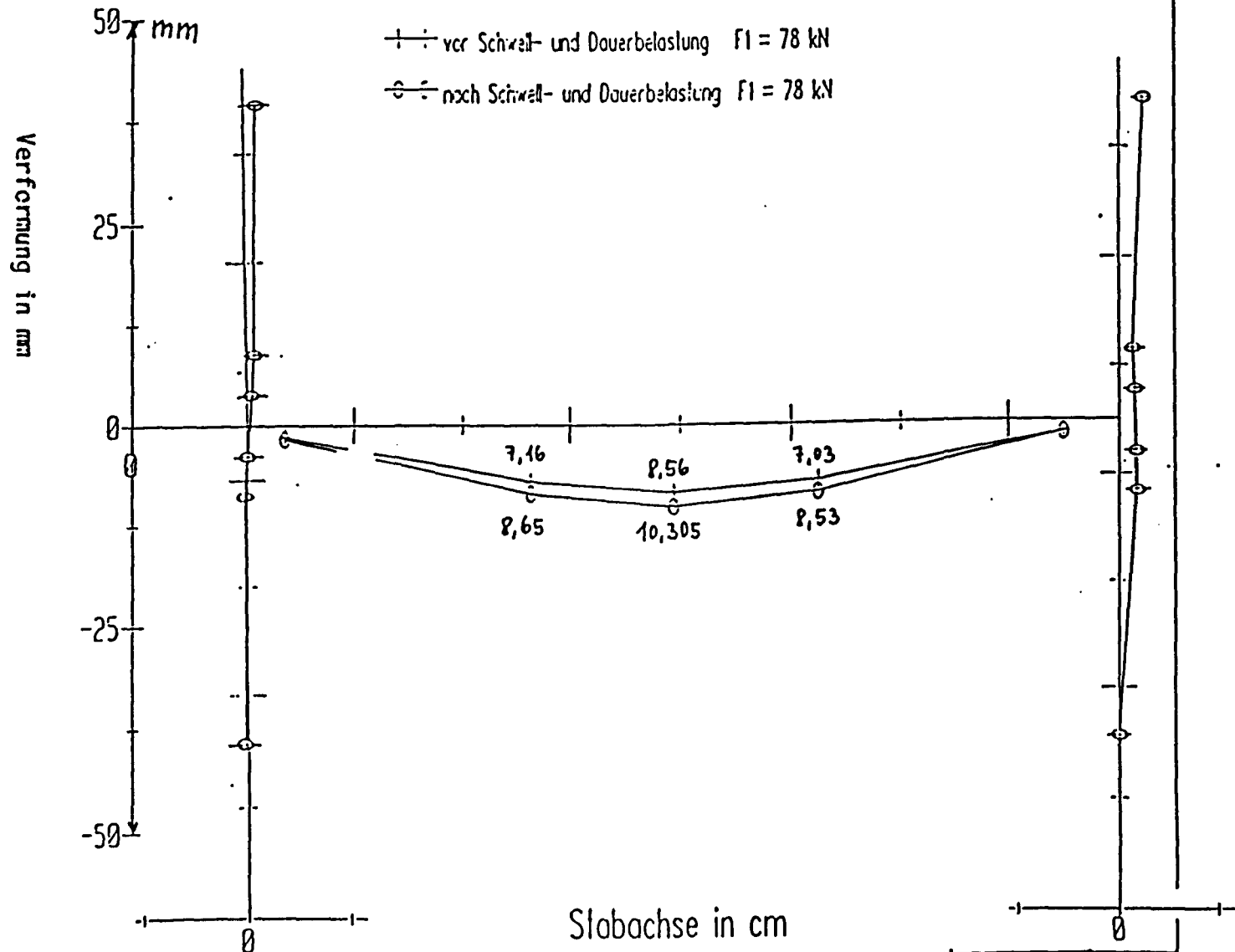




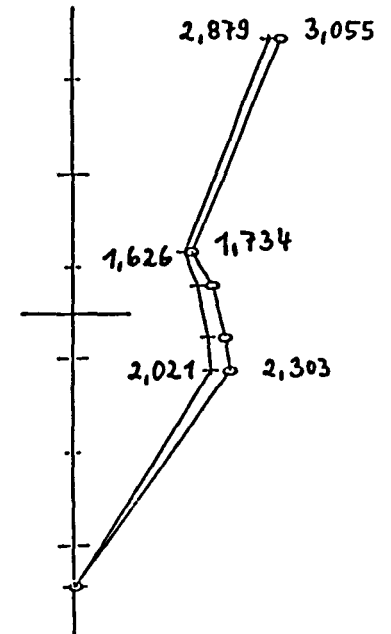
Verformung am Versuchsrahmen

# Versuchsrahmen IV

vor bzw. nach Schwell- und Dauerbelastung



rechts



links

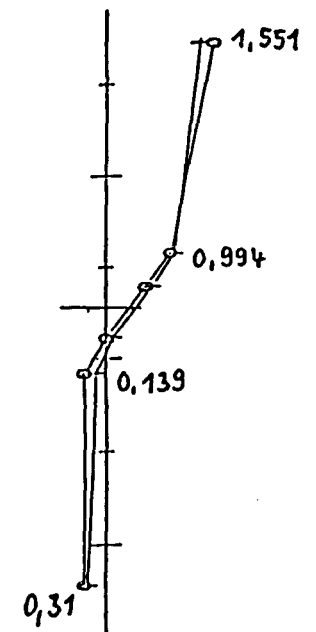


Bild 2.53a

2.65

# Verformung am Versuchsrahmen

Schwellbelastung mit 27000 Lastwechsel( $F_u=39 \text{ kN}$ ,  $F_o=80 \text{ kN}$ ,  $f=0.2 \text{ Hz}$ )

## Versuchsrahmen IV

V - vor Schwellbelastung

N - nach Schwellbelastung

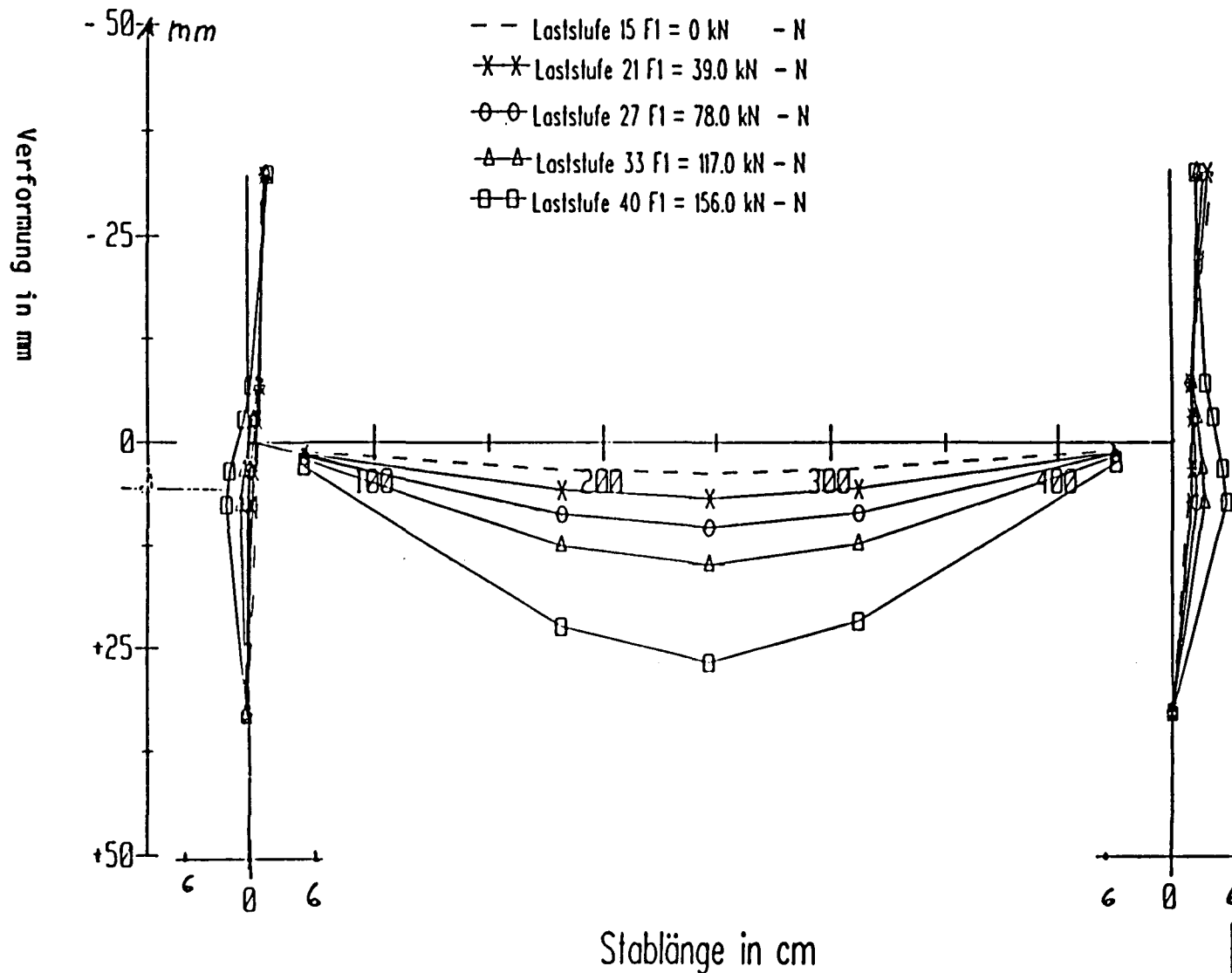


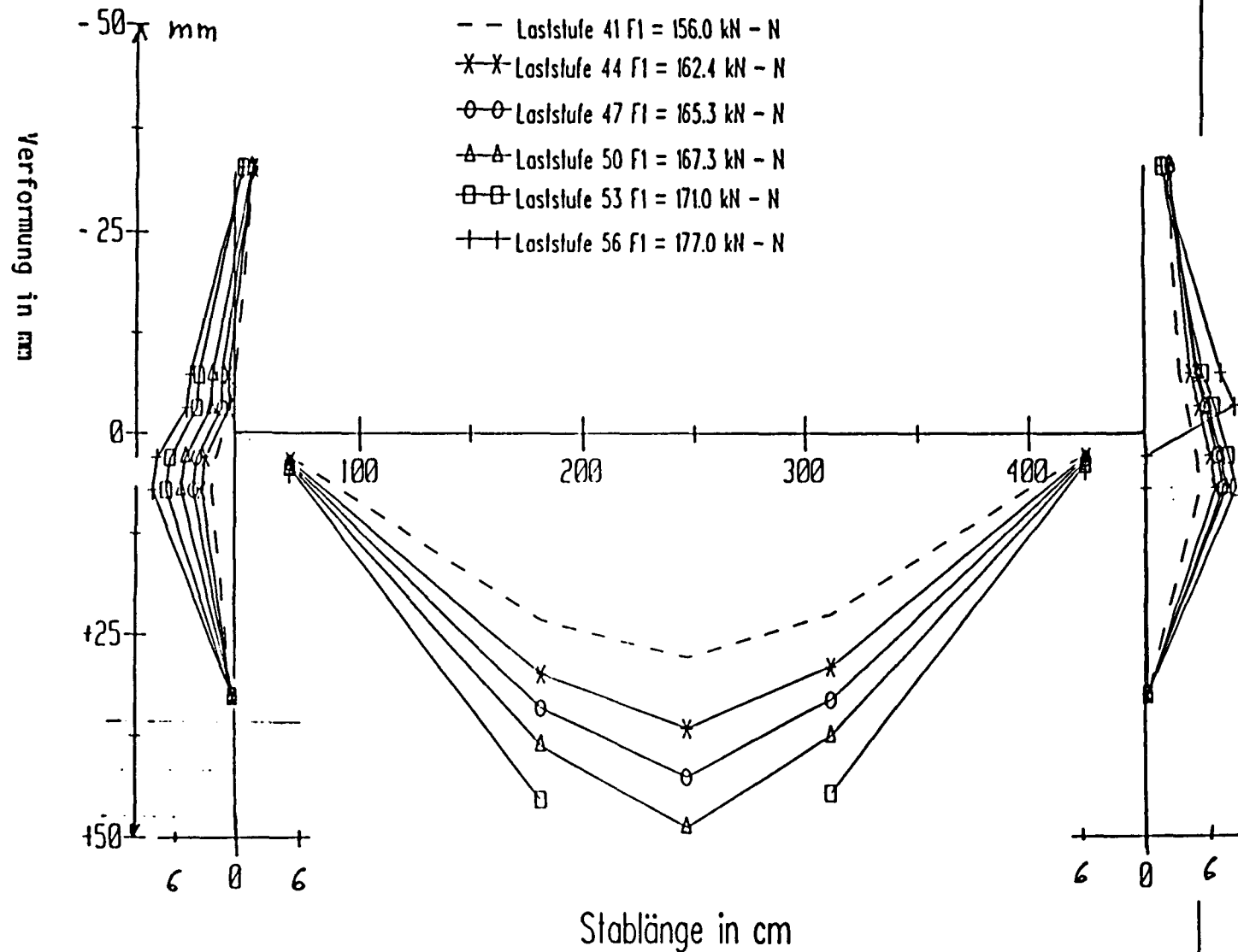
Bild 2.53b

# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen IV

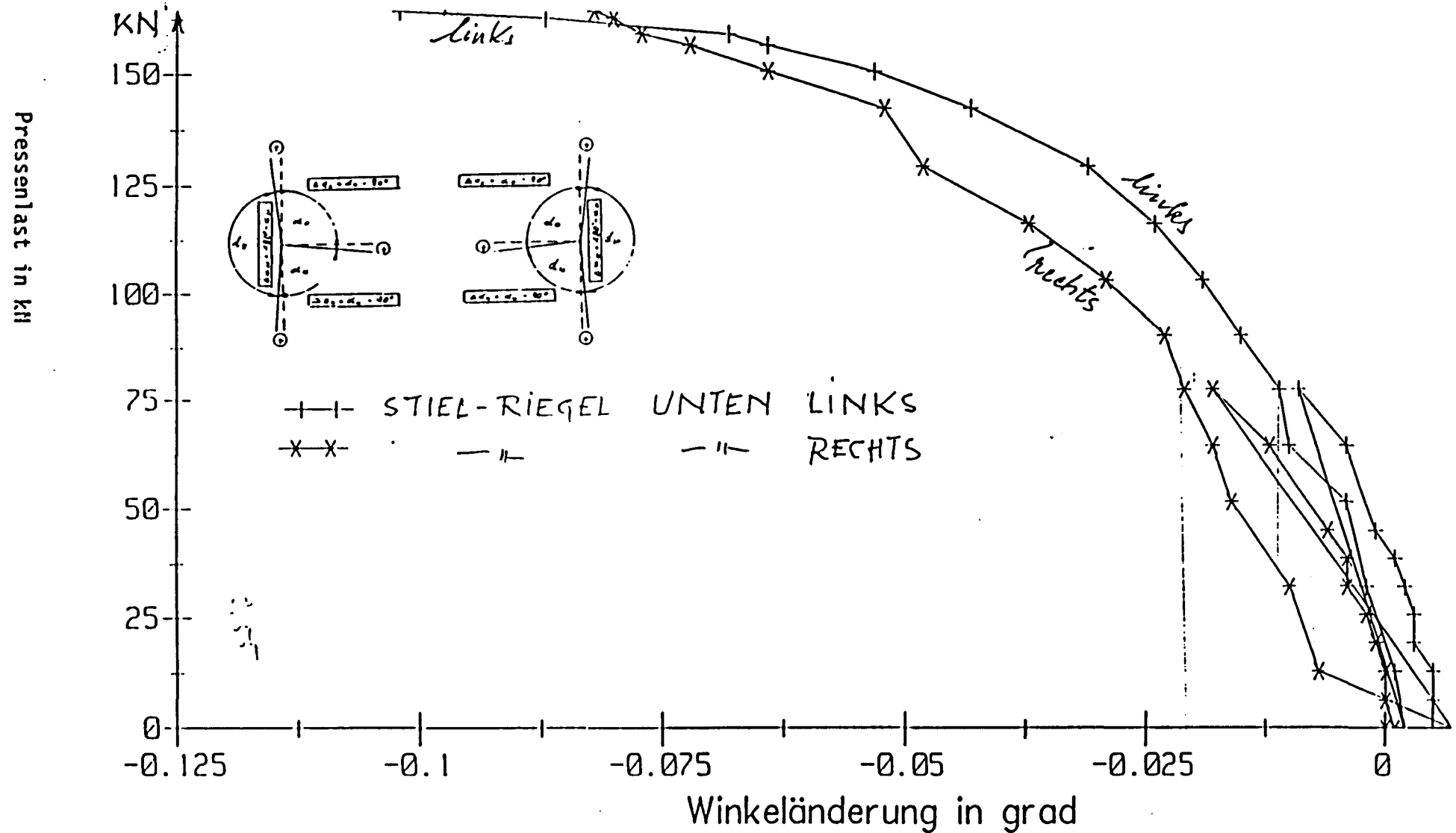
Entlastung des Riegels auf  $F_1 = 0 \text{ kN}$

Umstellung der Lasteintragung von Kraft- auf Wegsteuerung



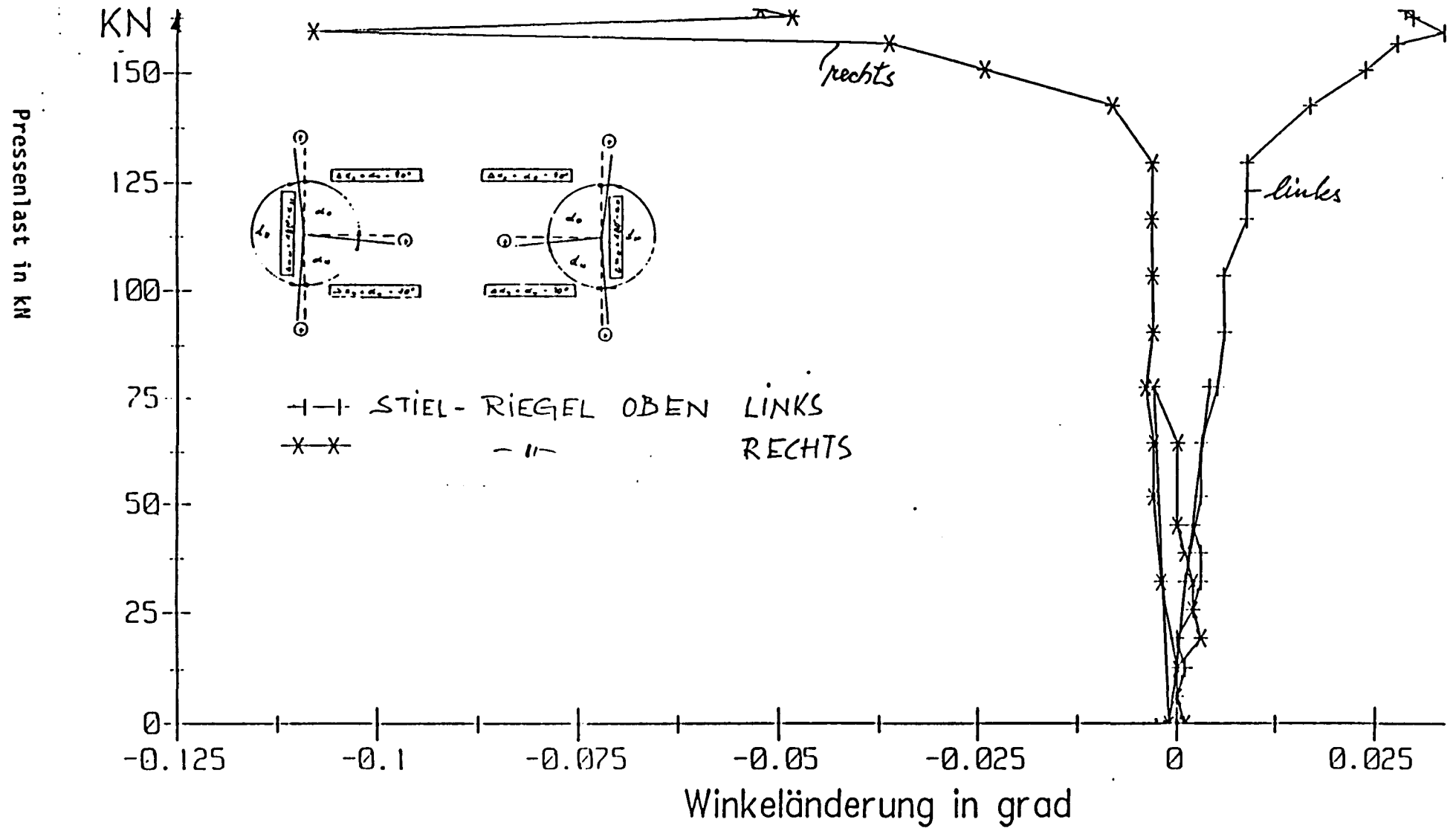
811d 2,54

2.57



Winkeländerung im Knotenbereich  $\Delta\varphi_0$

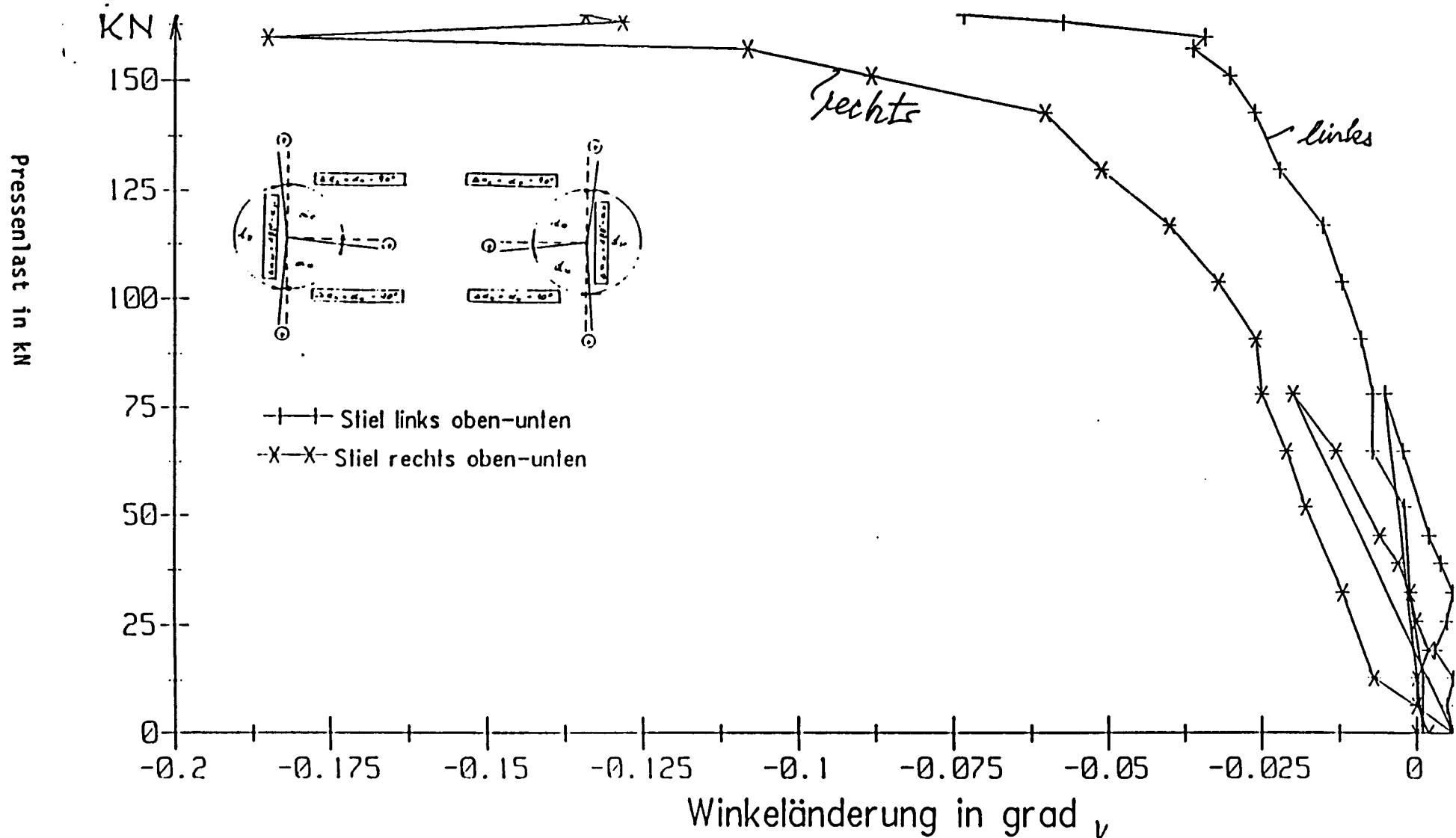
# Versuchsrahmen IV





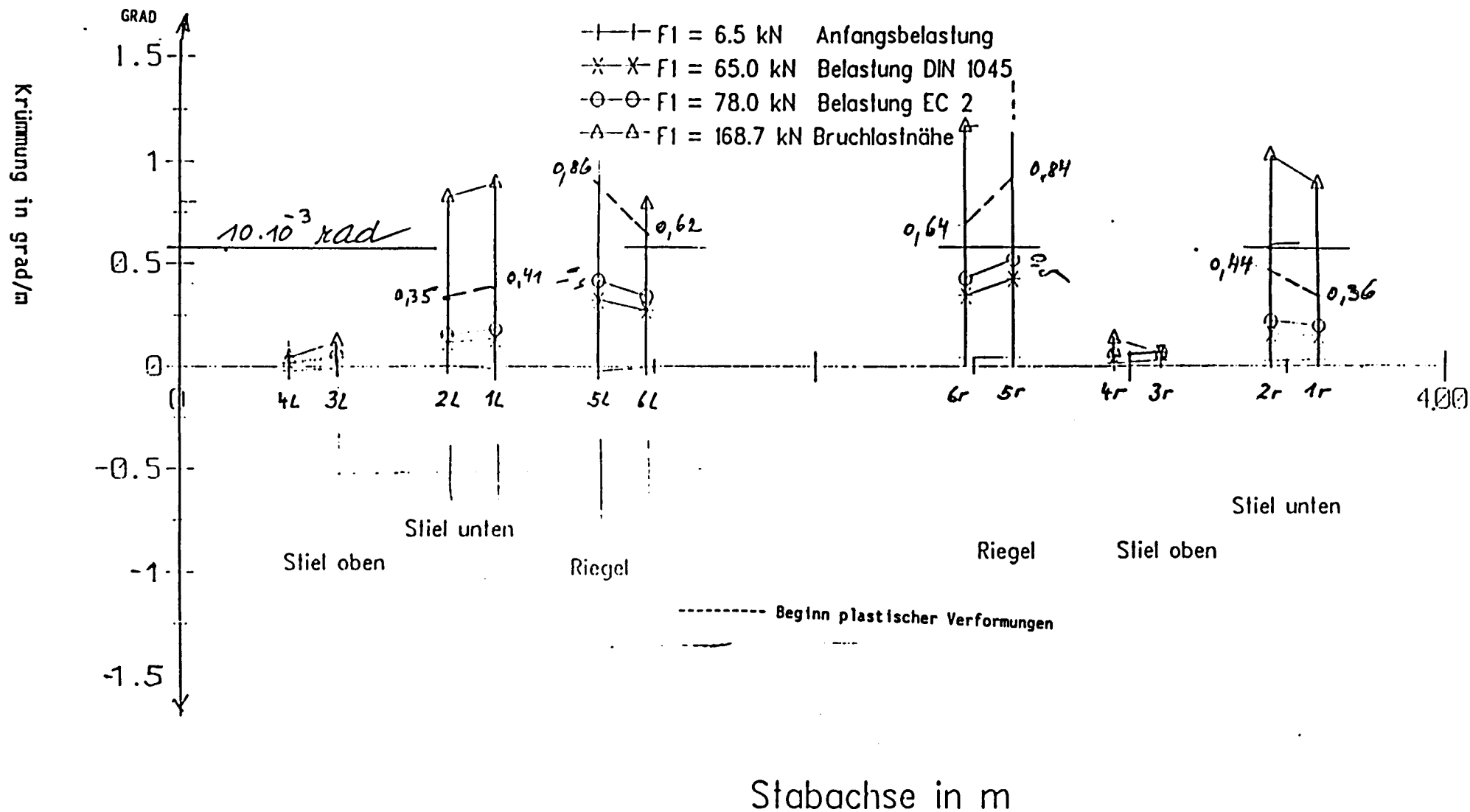
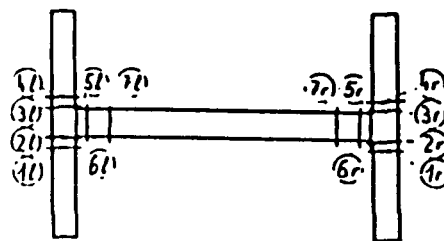
Winkeländerung im Knotenbereich  $\Delta \varphi_{St}$

# Versuchsrahmen IV



# Krümmungsverlauf

# Versuchsrahmen IV



# Rißentwicklung bis zur Gebrauchslast mit Laststufenangabe (VR 4)

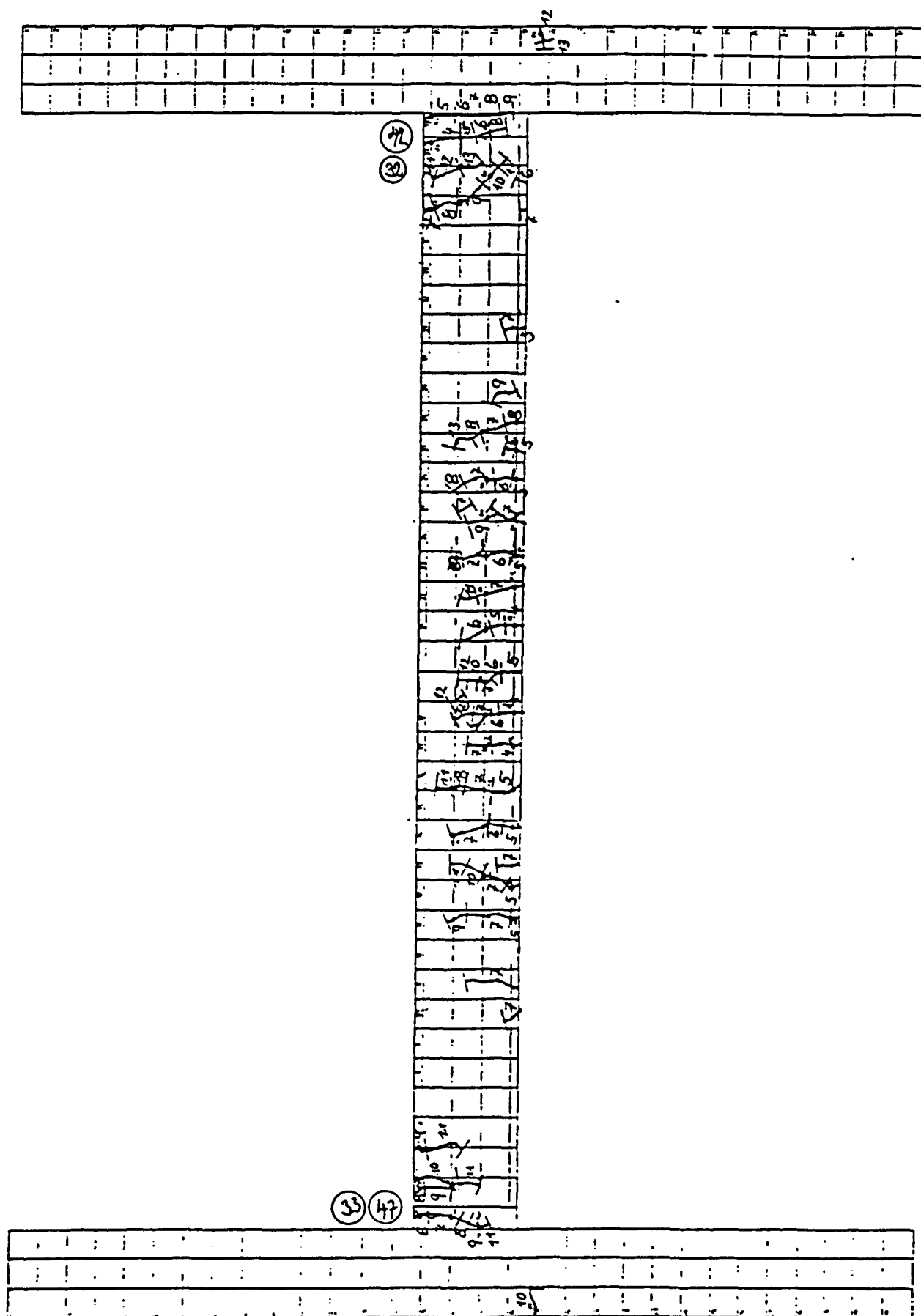


Bild 2.59

Gesamtrißbild (VR 4) mit Angabe der Rißbreitenmeßpunkte (•)

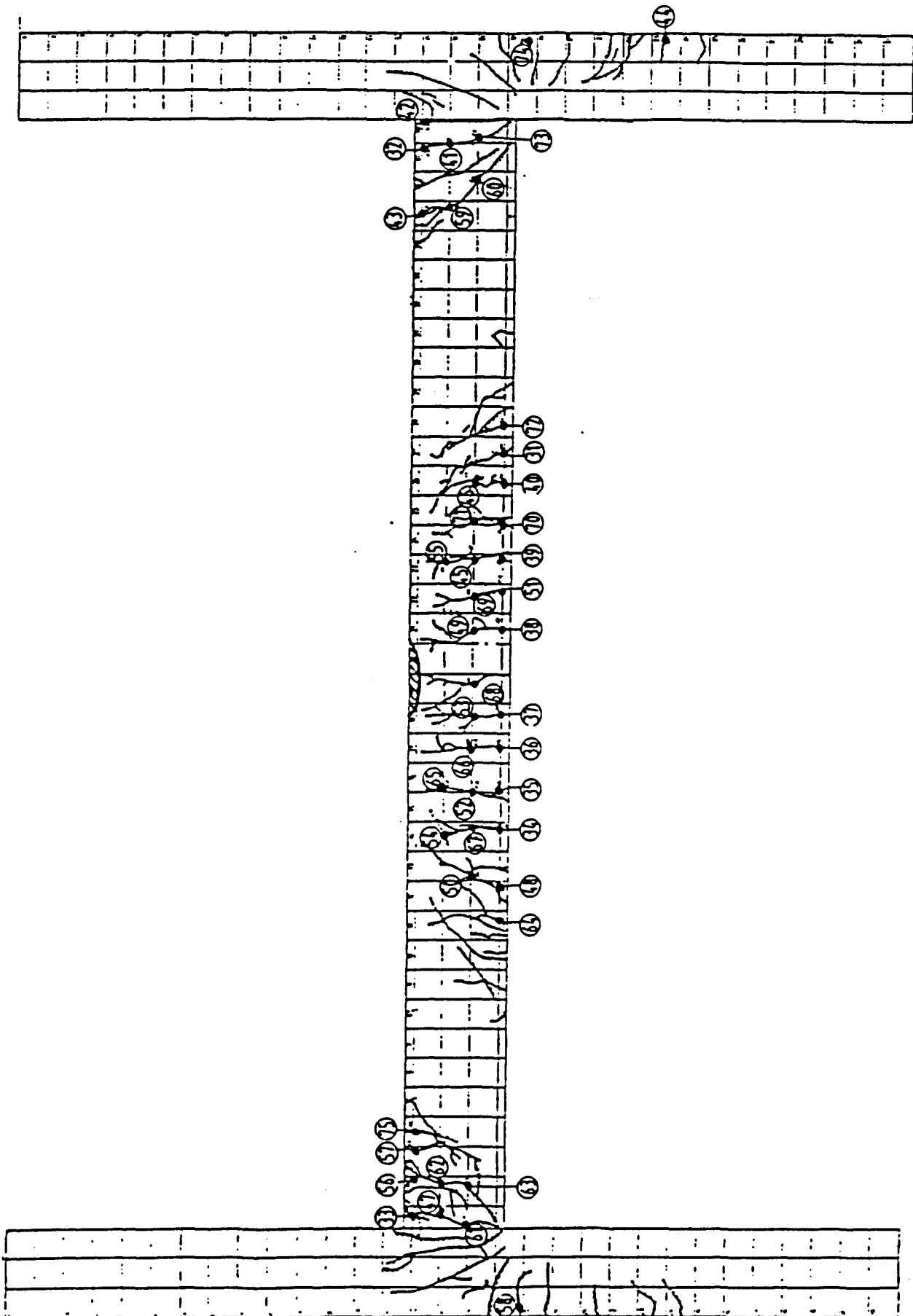


Bild 2.60

Versuchsrahmen 4

Riss	Laststufe															
	6	8	11	13	15	17	20	23	25	27	29	31	33	36	38	41
	Belastung in kN															
	33	46	65	78	0	13	33	52	65	78	91	104	117	130	143	156
Rissbreite in 1/100 mm																
31	4	4	4	4	4	-	-	-	-	8	6	8	12	14	16	18
32	13	16	21	20	12	12	12	26	24	28	32	40	48	60	66	96
33	4	8	14	21	18	8	8	36	38	20	32	40	64	92	110	200
34	5	6	11	15	6	8	10	12	17	14	20	20	30	32	34	40
35	5	9	16	17	6	-	-	-	-	18	20	22	32	34	34	66
36	7	11	19	19	6	6	10	14	16	16	22	24	32	36	40	66
37	5	10	11	15	6	6	8	13	14	16	20	22	28	27	32	80
38	5	7	10	13	3	-	-	-	-	14	20	22	24	36	40	78
39	5	10	14	14	6	-	-	-	-	20	22	32	36	36	34	46
40	3	4	11	13	4	6	6	14	18	18	22	24	26	32	30	23
41	5	7	8	8	2	-	-	-	-	3	8	6	8	8	8	8
42	-	14	18	20	8	8	12	18	18	22	32	32	40	60	94	110
43	-	5	21	33	14	14	16	26	34	24	30	40	42	66	68	68
44	-	7	13	14	6	-	-	-	-	8	8	12	22	24	32	32
45	-	6	11	11	5	-	-	-	-	12	22	16	20	26	27	40
46	-	3	5	7	3	-	-	-	-	6	8	8	10	10	16	6
47	-	7	10	20	8	10	10	15	18	-	22	30	36	38	38	105
48	-	4	6	6	2	-	-	-	-	6	12	16	18	20	24	24
49	-	5	7	8	3	-	-	-	-	8	8	14	14	18	18	46
50	-	3	13	15	14	-	-	-	-	18	28	30	38	46	54	66
51	-	-	11	15	4	-	-	-	-	16	18	20	26	26	32	36
52	-	-	6	6	3	-	-	-	-	12	14	16	18	19	22	32
53	-	-	4	4	2	-	-	-	-	10	11	8	14	12	12	28
54	-	-	3	3	3	-	-	-	-	3	14	6	5	6	6	6
55	-	-	3	3	3	-	-	-	-	7	8	6	6	6	10	10
56	-	-	4	5	3	-	-	-	-	8	12	16	20	32	36	36
57	-	-	4	6	2	-	-	-	-	4	10	8	9	8	12	18
58	-	-	3	6	3	-	-	-	-	4	6	8	8	8	7	8
59	-	-	11	15	10	-	-	-	-	20	26	30	40	42	58	59
60	-	-	3	5	4	-	-	-	-	10	8	8	12	14	20	20
61	-	-	-	4	3	-	-	-	-	4	16	16	18	24	28	65
62	-	-	-	6	7	-	4	12	13	14	15	18	32	36	38	37
63	-	-	-	3	3	-	-	-	-	6	10	14	13	14	16	18
64	-	-	-	5	3	-	-	-	-	6	8	8	12	16	17	15
65	-	-	-	3	4	-	-	-	-	4	12	8	5	10	8	14
66	-	-	-	3	4	-	-	-	-	12	14	14	14	16	22	44
67	-	-	-	5	3	-	-	-	-	4	6	3	10	12	14	12
68	-	-	-	4	3	-	-	-	-	7	12	12	14	16	22	12
69	-	-	-	6	4	-	-	-	-	8	10	12	14	18	19	20
70	-	-	-	6	4	-	-	-	-	8	12	18	18	18	24	23
71	-	-	-	5	4	-	-	-	-	10	16	16	18	20	28	34
72	-	-	-	7	3	-	-	-	-	10	6	12	16	20	22	20
73	-	-	-	6	4	-	-	-	-	6	8	10	8	12	14	20
74	-	-	-	-	2	-	-	-	-	6	8	10	12	12	16	16
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	12	14	13	18	20	30

Bild 2.61

## VR IV

	$F_2 = 300 \text{ kN}$ konstant $F_1 \text{ kN}$	Rotationsbereich ohne Schrägstab (links) rad. $10^{-3}$	I Rotationsbereich III mit Schrägstab (rechts) rad. $10^{-3}$
Gebrauchslast	78		
Knotendrehung E-Theorie, Zust.I	78	- 0,8	- 0,8
gem. Knoten- drehung	78	- 2,0	- 0,5
Winkeländerung $\Delta\varphi_u$ Riegel - unterer Stiel	78	- 0,16	- 0,31
$\Delta\varphi_o$ Riegel - oberer Stiel	78	+ 0,07	- 0,05
max. Rißbreite mm	78	0,25	0,25

Bruchlast	177		
Knotendrehung E-Theorie, Zustd.I	177	- 1,81	- 1,81
gem. Knoten- drehung	177	- 10,0	- 9,0
Winkeländerung $\Delta\varphi_u$ Riegel - unterer Stiel	177	- 1,78	- 1,43
$\Delta\varphi_o$ Riegel - oberer Stiel	177	+ 0,51	- 0,91
max. Rißbreite mm	177	2,0	1,1

Die Mittendurchbiegungen betrugen:

unter Gebrauchslast vor Schwellbelastung: 8,6 mm  
 unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung: 10,3 mm  
 im Versagenszustand > 50,0 mm

Bild 2.62: VR IV Knotenverformungen und maximale Rißbreiten

Versuchskörper VR5	Gebrauchslast nach EC 2, T. 1:	$F_1 \approx 180 \text{ kN}$
	Bruchlast:	$F_1 = 325 \text{ kN}$
	$F_2 = 300 \text{ kN}$	

Der Versuchskörper versagte durch Einschnüren der Biegedruckzone im Rotationsbereich II. Etwa zeitgleich waren Betonabplatzungen auf der Innenseite der Stiele unterhalb des Riegels festzustellen. Die geringen Imperfektionen aus dem Versuchsaufbau sind ab 50 % der Gebrauchslast vernachlässigbar.

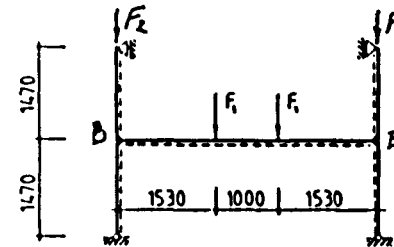
Im Rotationsbereich I und III war bis 92 % der Bruchlast keine signifikante Momentenumlagerung und kein unterschiedliches Tragverhalten festzustellen. Die darüber hinausgehende Belastung führte zur Momentenumlagerung von den Bereichen I und II in den Bereich III. Eine damit verbundene Rotation im Bereich I ist deutlich im Stielbereich durch verstärkte Rißbildung erkennbar (Bild 2.74). Im Gegensatz zum Versuchskörper VR4 verschob sich im Bereich I der Rotationsschwerpunkt deutlich in den Stielbereich hinein.

Die rotationshemmende Wirkung der Schrägbewehrung im Rotationsbereich III ist im Vergleich zum Versuchskörper VR 4 deutlicher feststellbar. Im Rotationsbereich I treten zwischen Stiel oben und Riegel größere Winkeländerungen gegenüber dem Bereich III mit Schrägstab auf (Bild 2.70). Dagegen unterscheiden sich die Winkeländerungen zwischen unterem Stiel und Riegel nur unwesentlich.

Ein Vergleich der Rißbreiten in den drei Rotationsbereichen läßt keine wesentlichen Unterschiede erkennen (Bild 2.65). Rotationsbereich I (ohne Schrägstab) zeigt unter Gebrauchslast nach Abschluß der Schwellbeanspruchung max. Rißbreiten von 0,2 mm, praktisch identisch mit Bereich III. Die ersten Risse in den innenseitigen zugbeanspruchten Ecken Riegel - oberer Stiel wurden bei  $F_1 \approx 30 \text{ kN}$  beobachtet.

# Momentenverlauf

# Versuchsrahmen V

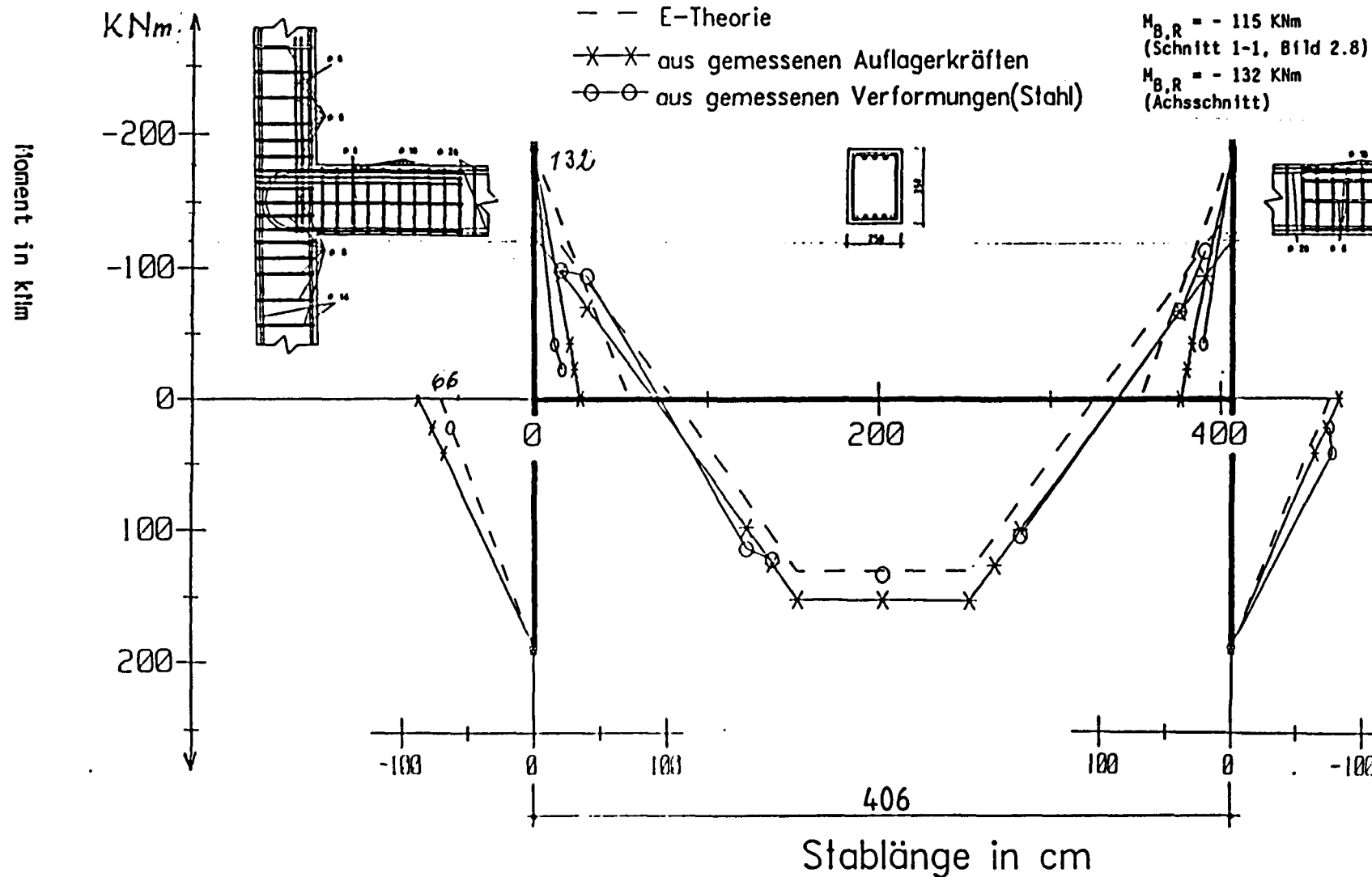


Laststufe 13

Gebrauchslast

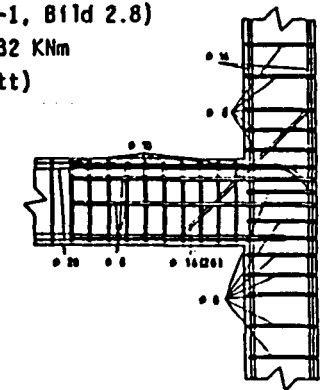
$F_1 = 180 \text{ kN}$

$F_2 = 300 \text{ kN}$



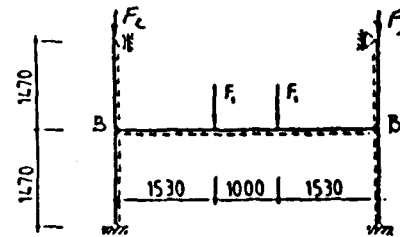
1470

1470



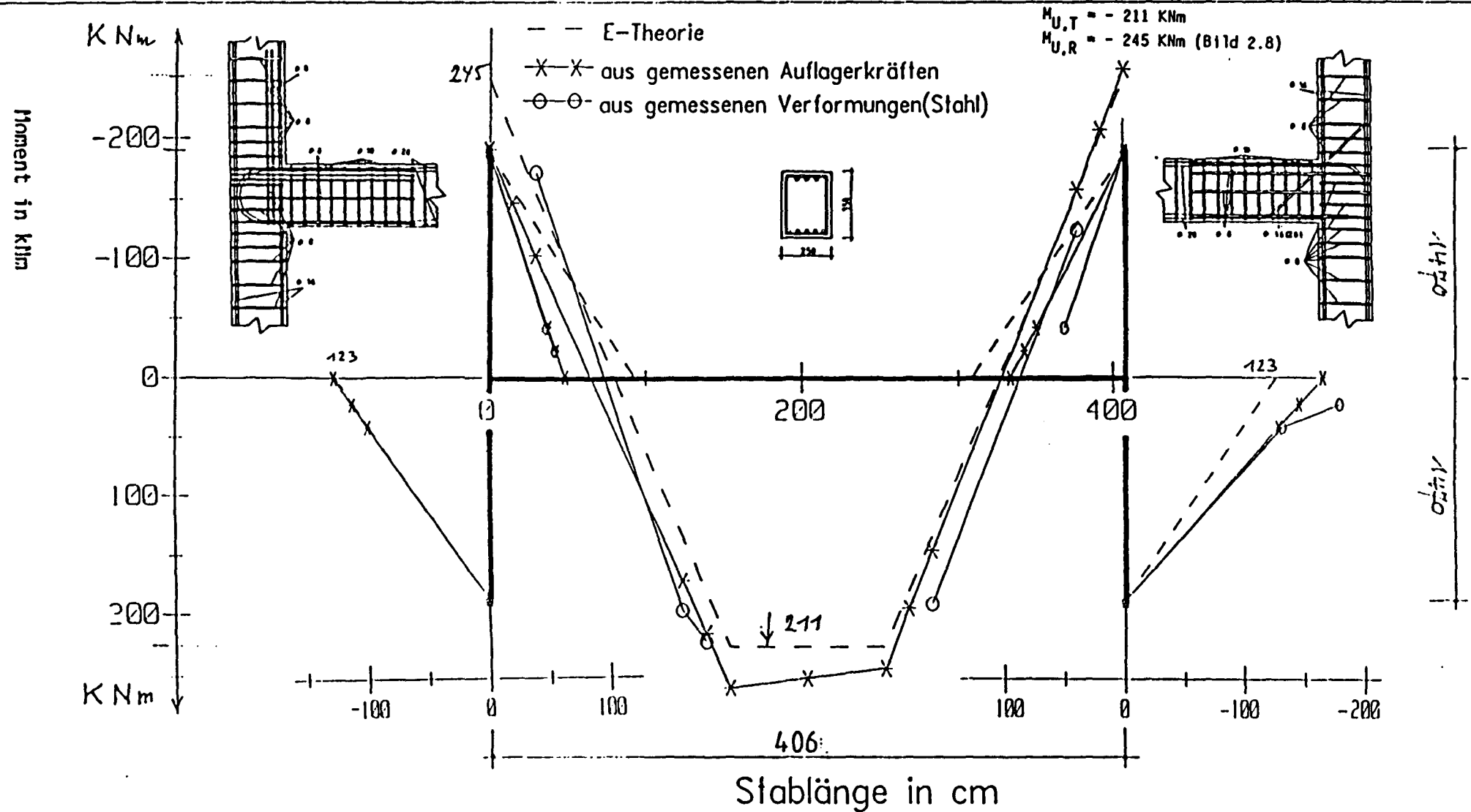


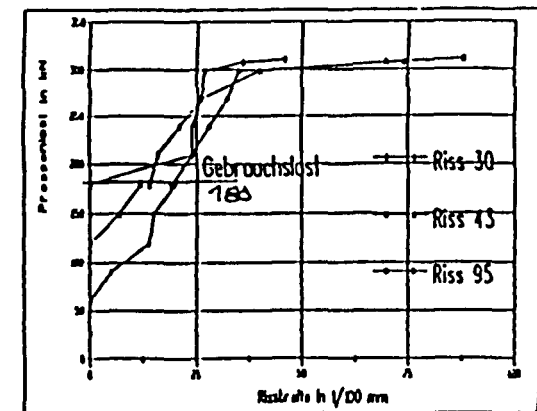
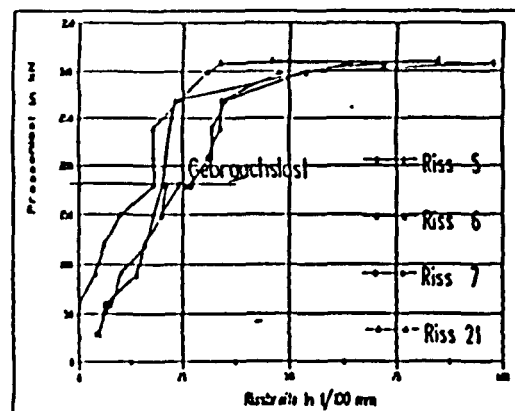
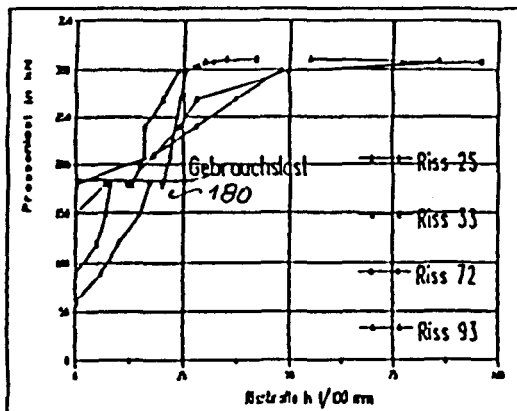
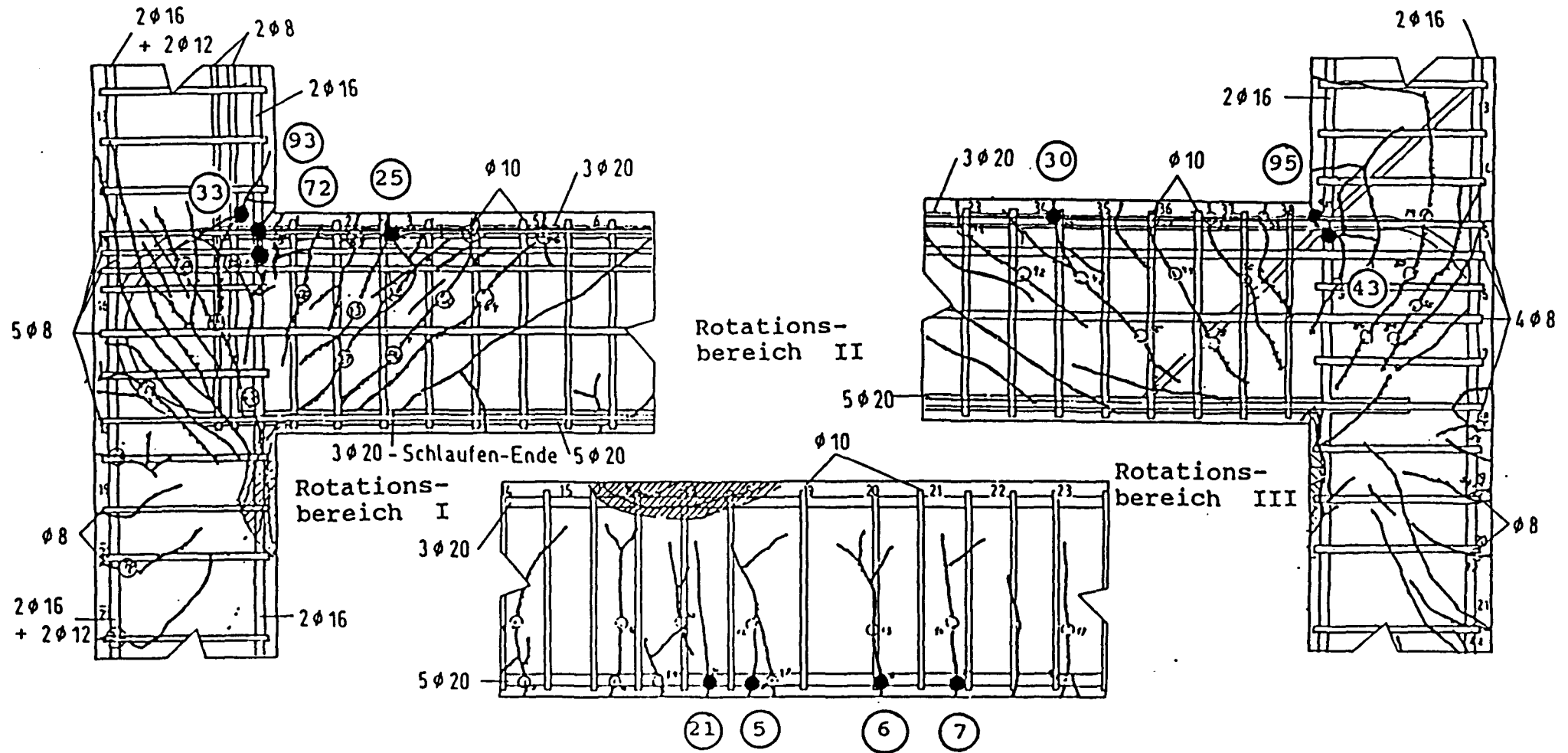
## Versuchsrahmen V



## Laststufe 46

# Bruchlast

$$F_1 = 325 \text{ kN}$$
$$F_2 = 300 \text{ kN}$$




# Verformung am Versuchsrahmen

# Versuchsrahmen V

vor bzw. nach Schwell- und Dauerbelastung

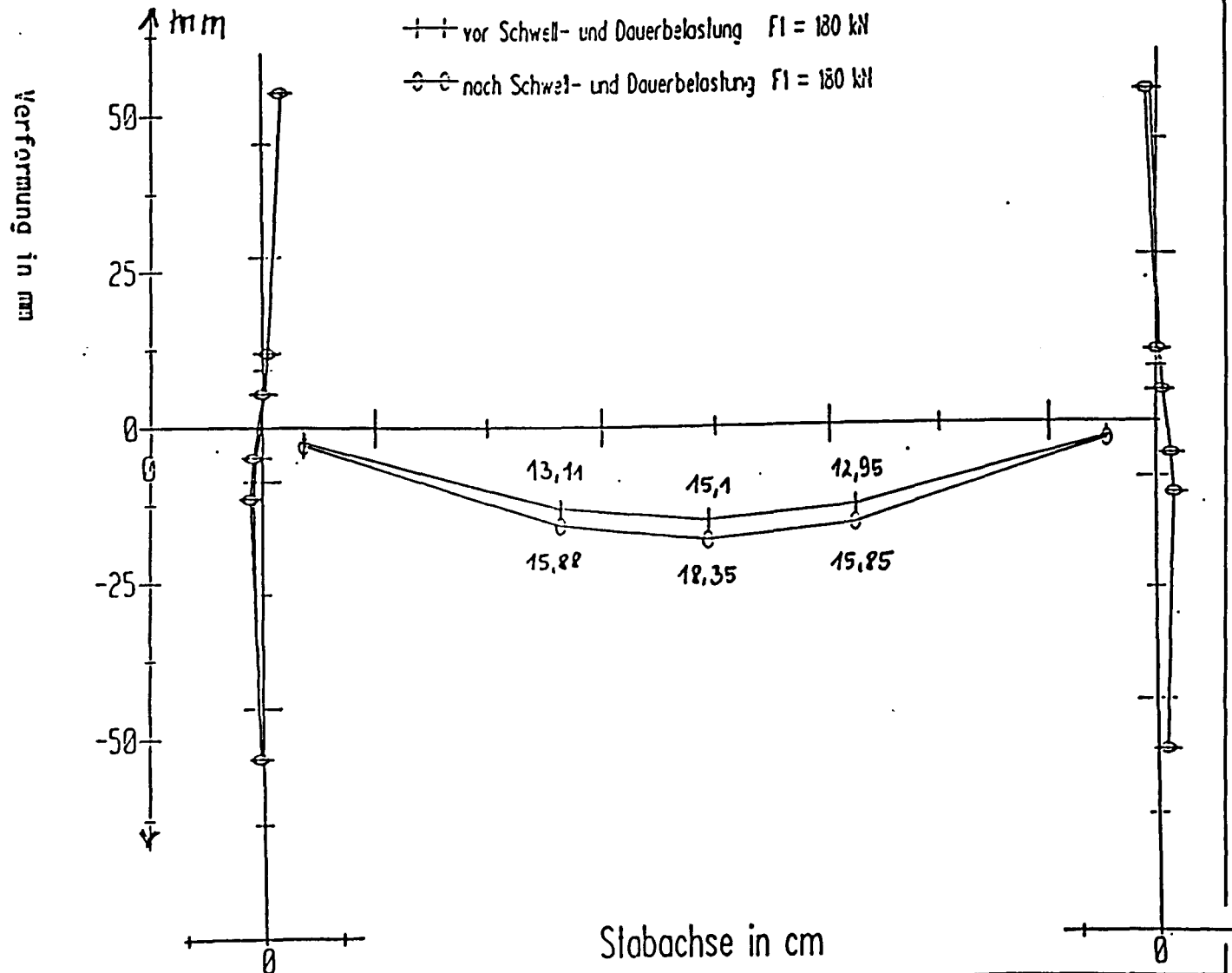
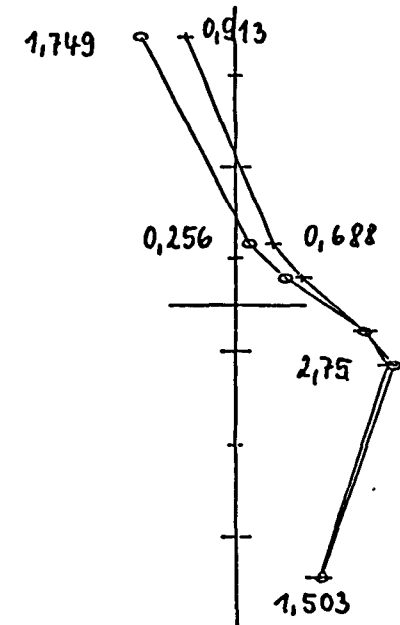
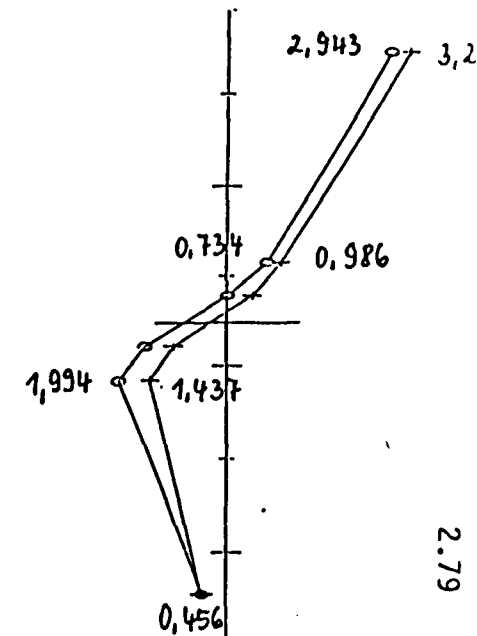


Bild 2.66

rechts



links

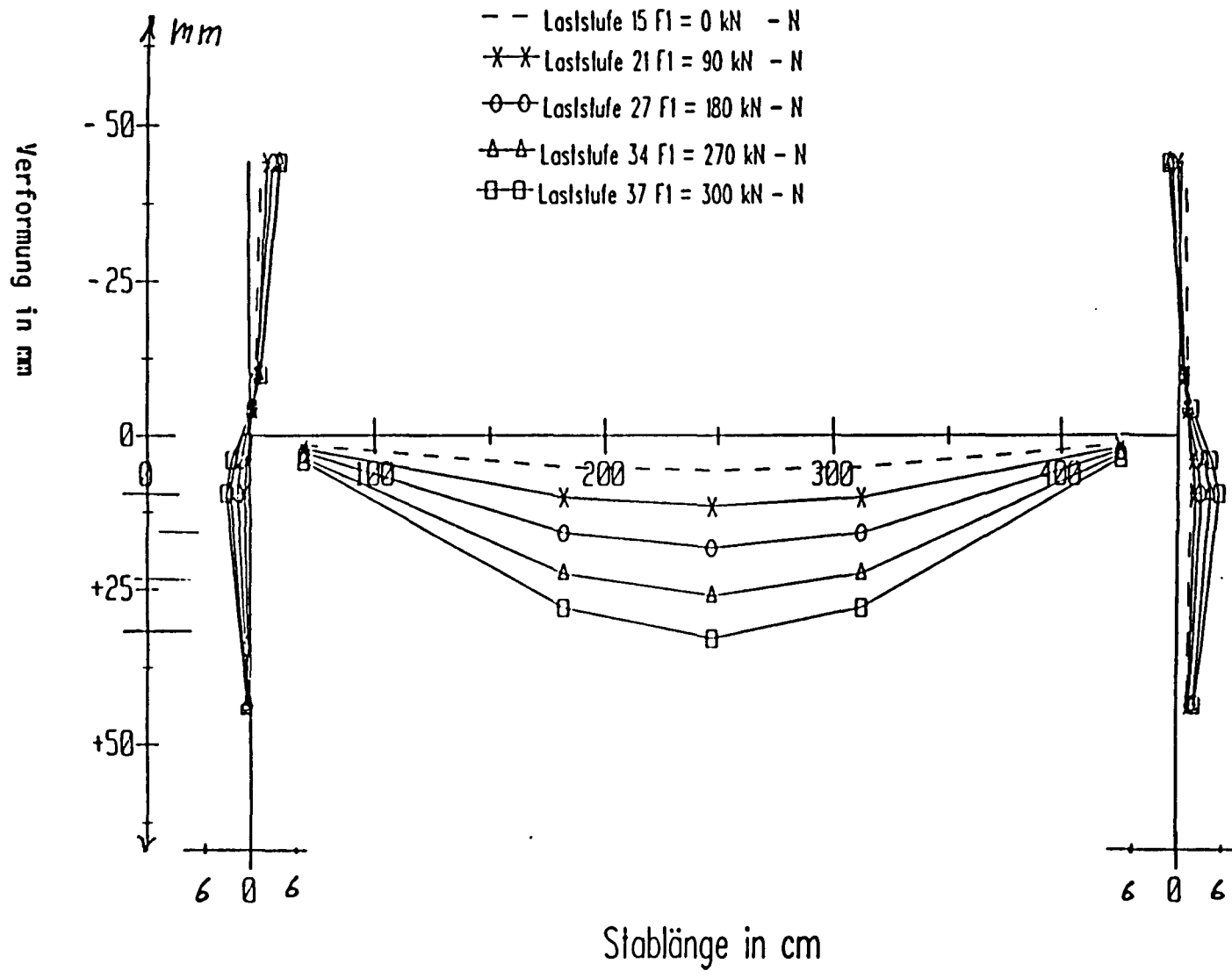


# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen V

V - vor Schwellbelastung

N - nach Schwellbelastung

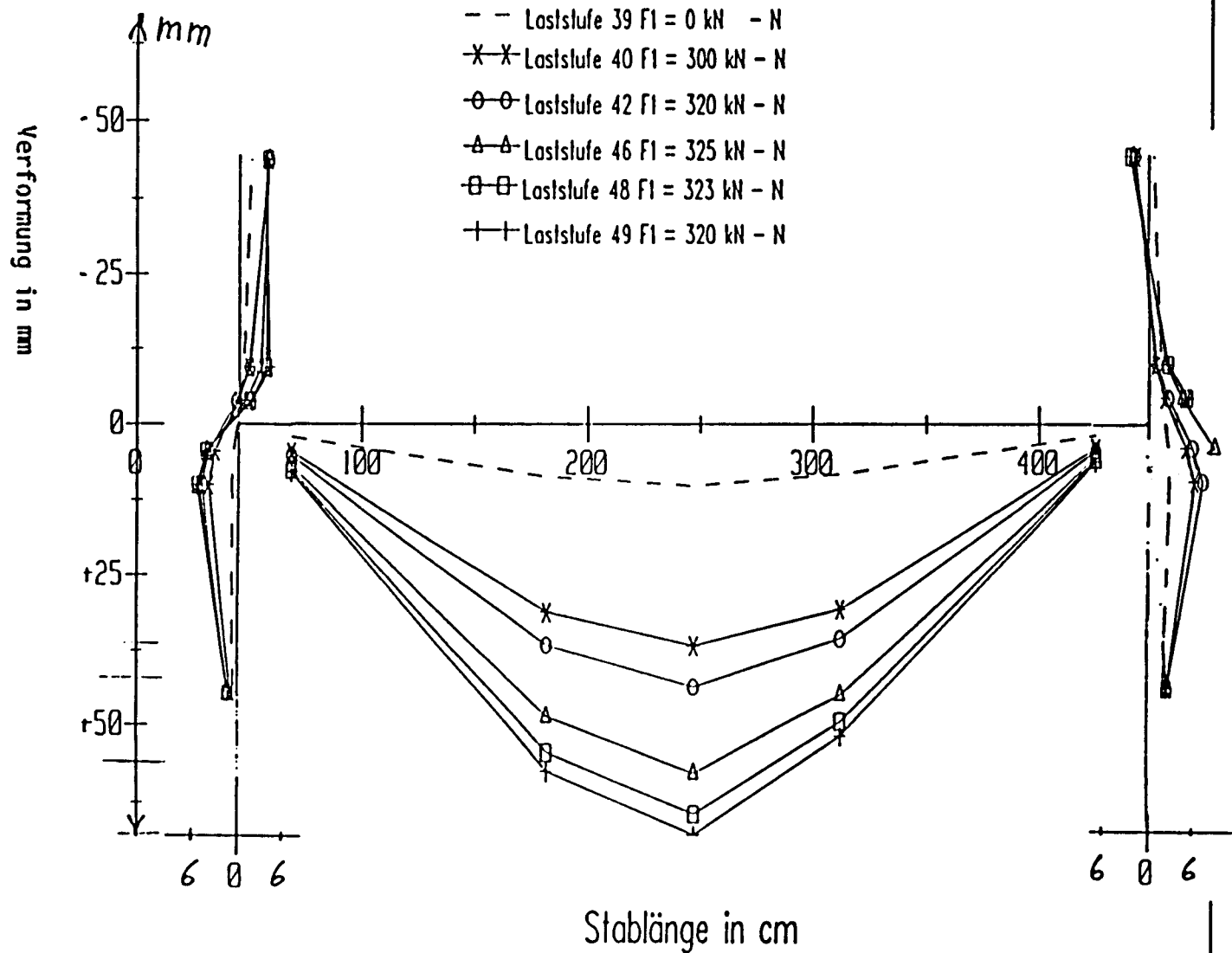


# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen V

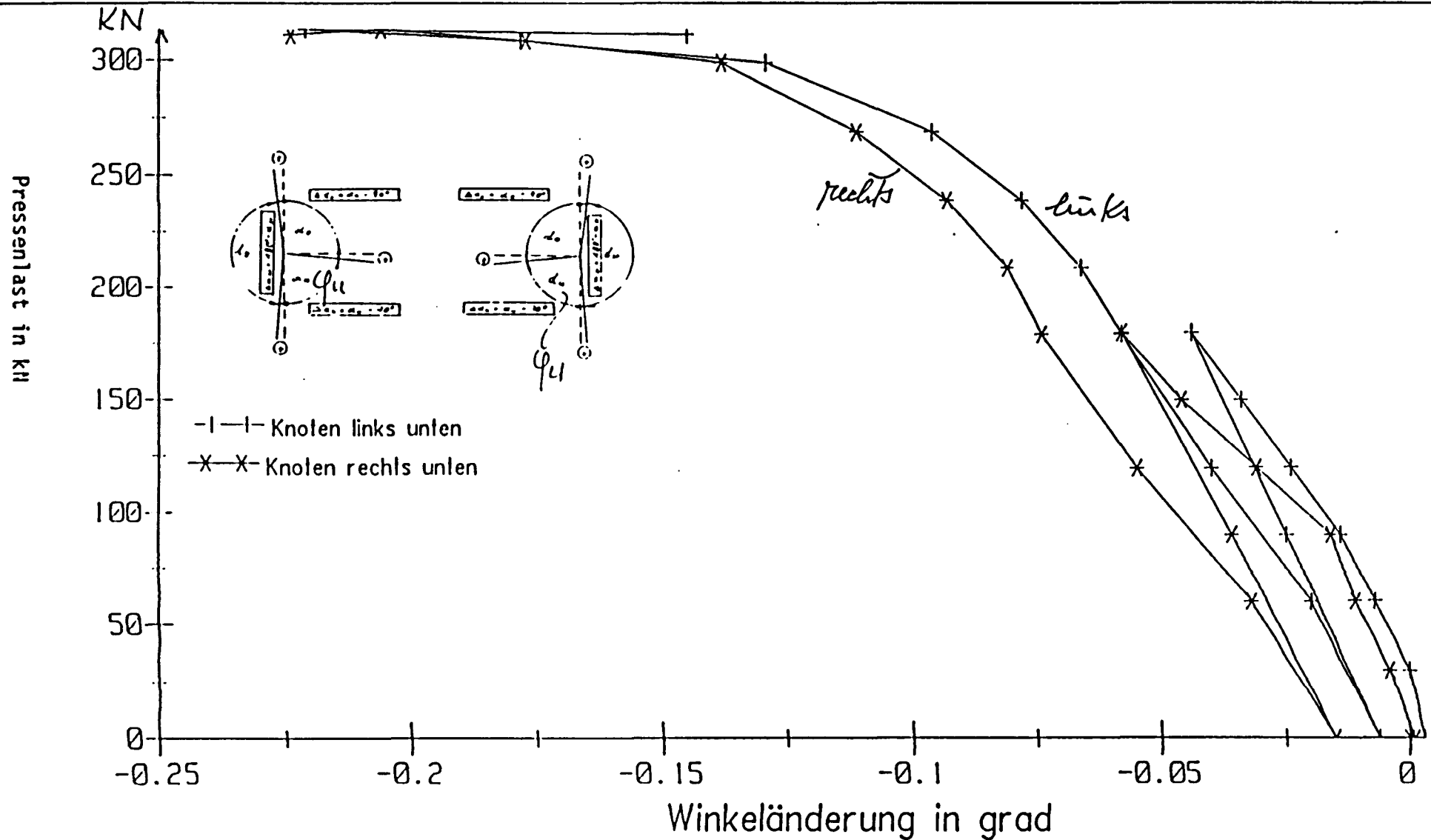
Entlastung des Riegels auf  $F_1 = 0 \text{ kN}$

Umstellung der Lasteintragung von Kraft- auf Wegsteuerung



Winkeländerung im Knotenbereich  $\Delta\varphi_u$

Versuchsrahmen V



Winkeländerung im Knotenbereich  $\Delta\varphi_0$

Versuchsrahmen V

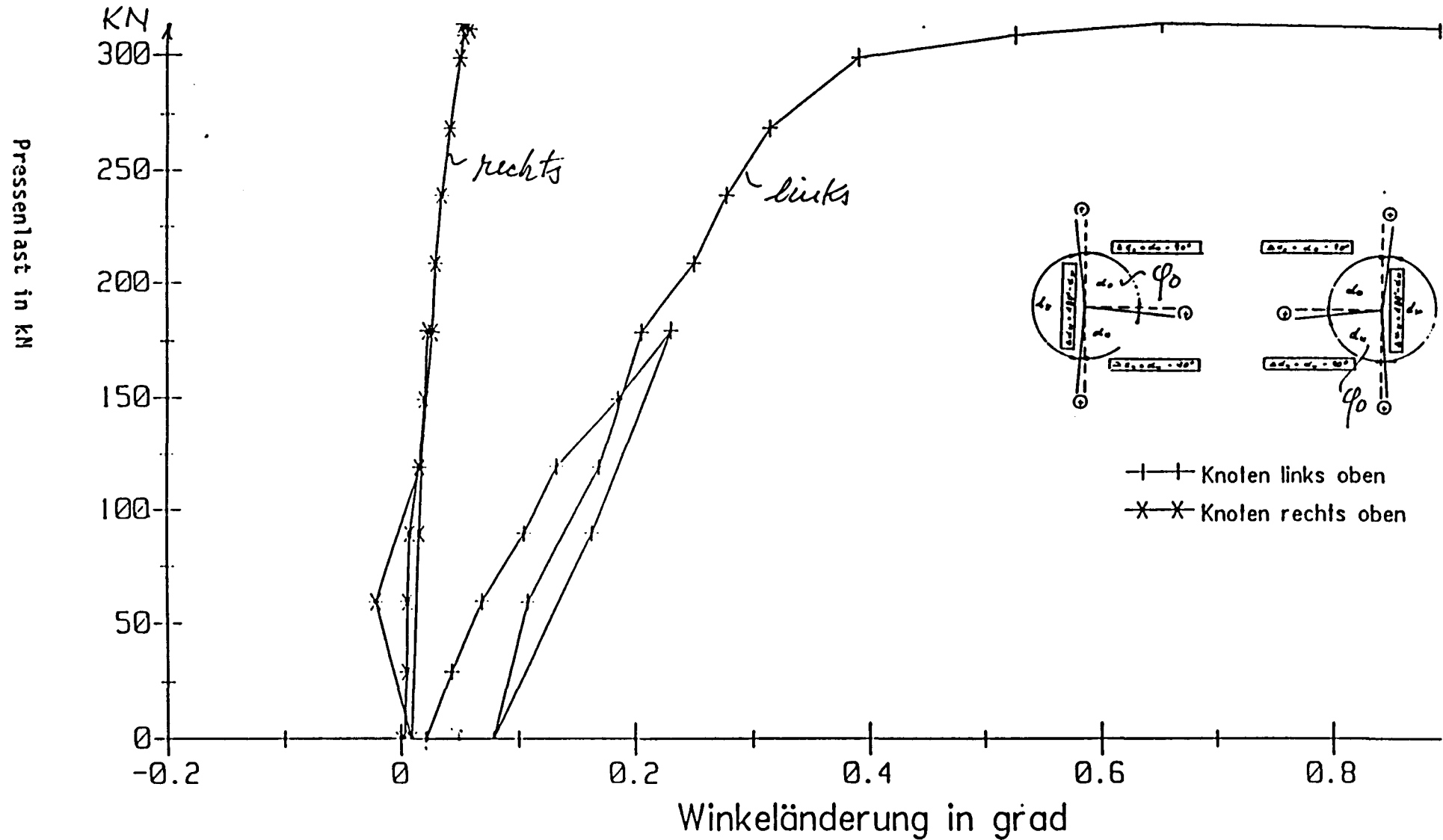
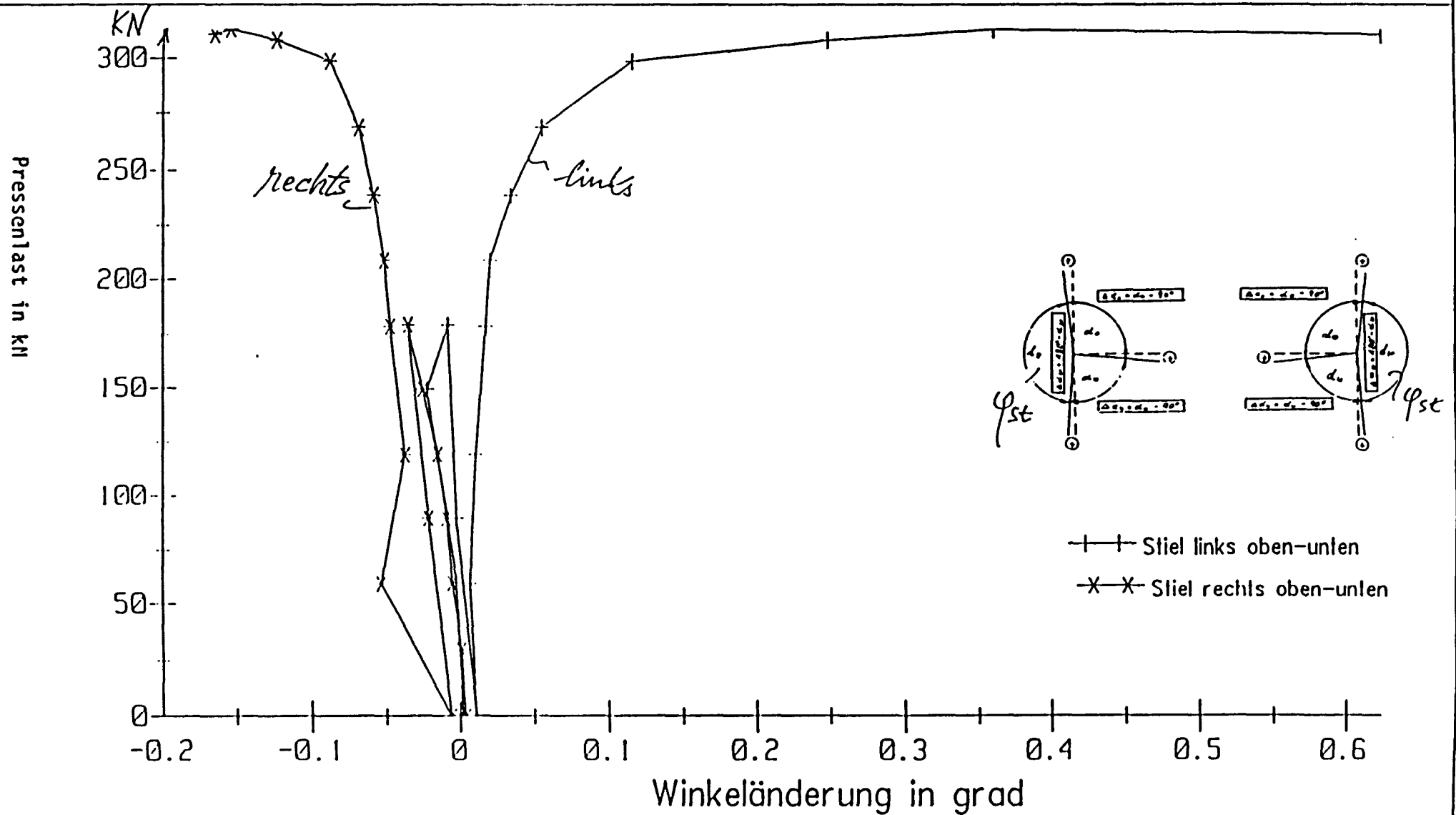


Bild 2.70

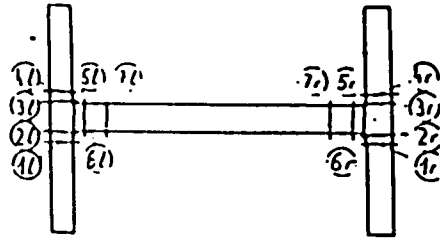
Winkeländerung im Knotenbereich  $\Delta \varphi_{St}$

Versuchsrahmen V

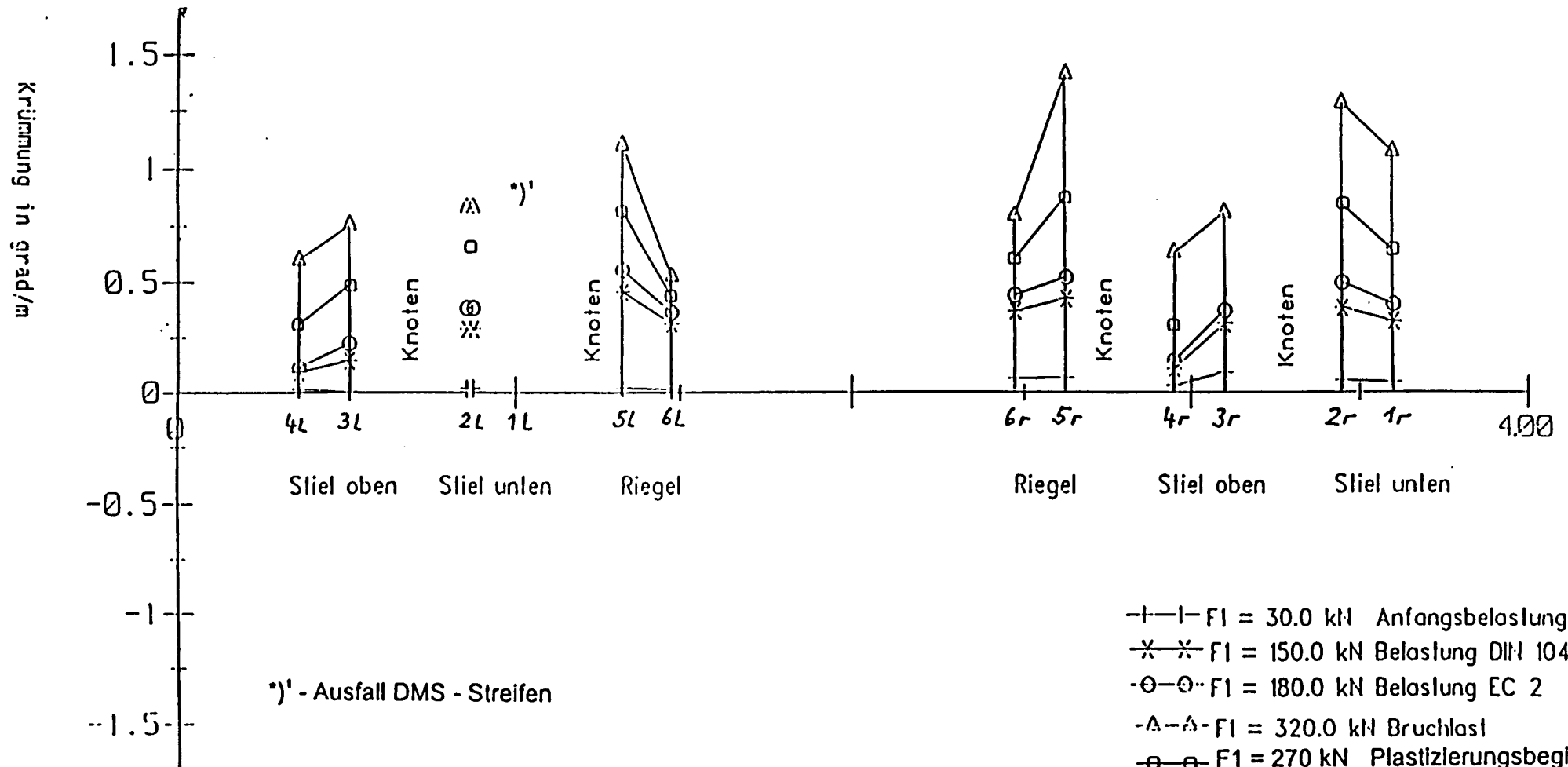




# Krümmungsverlauf



# Versuchsrahmen V



Rißentwicklung bis zur Gebrauchslast mit Laststufenangabe (VR 5)

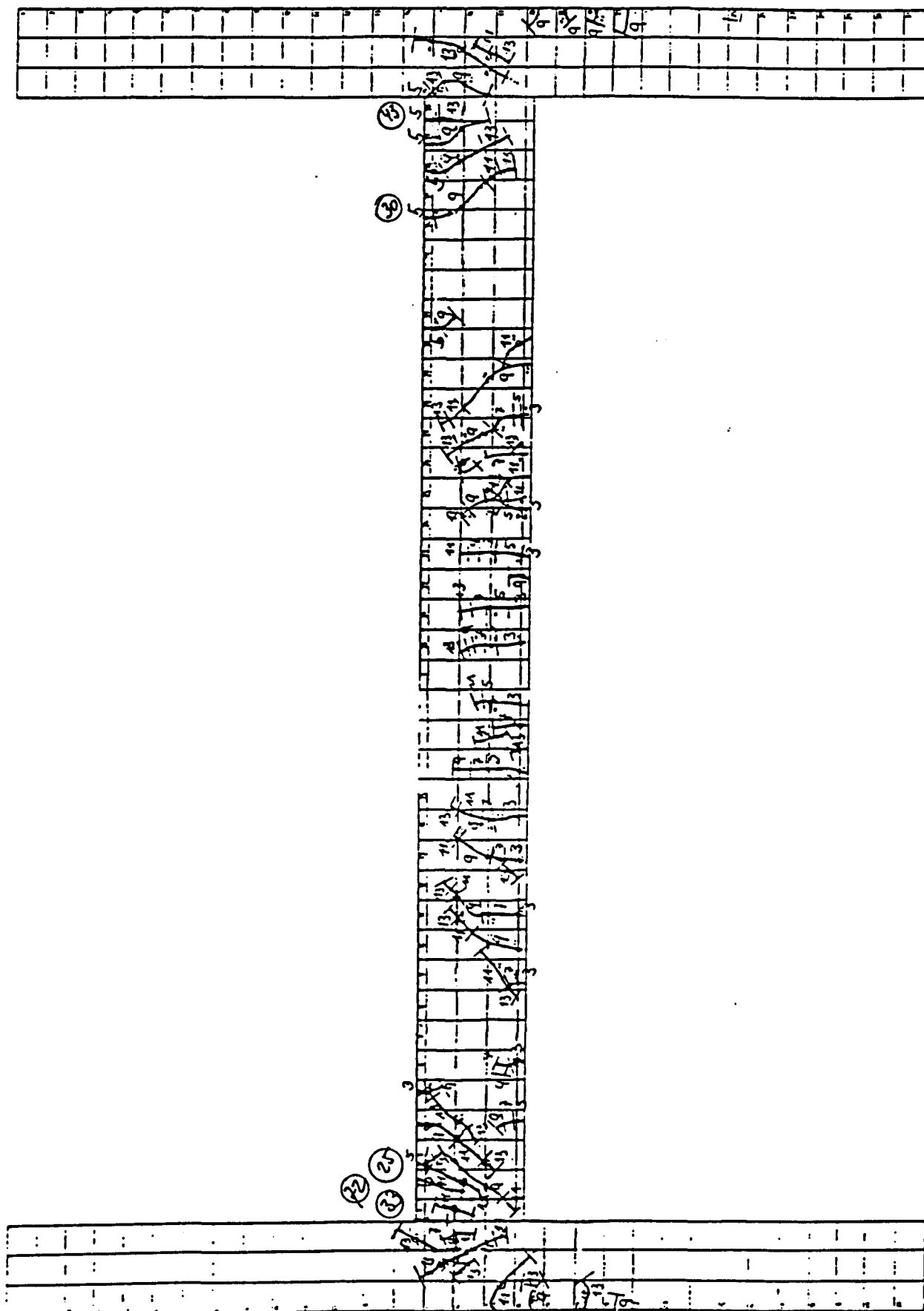
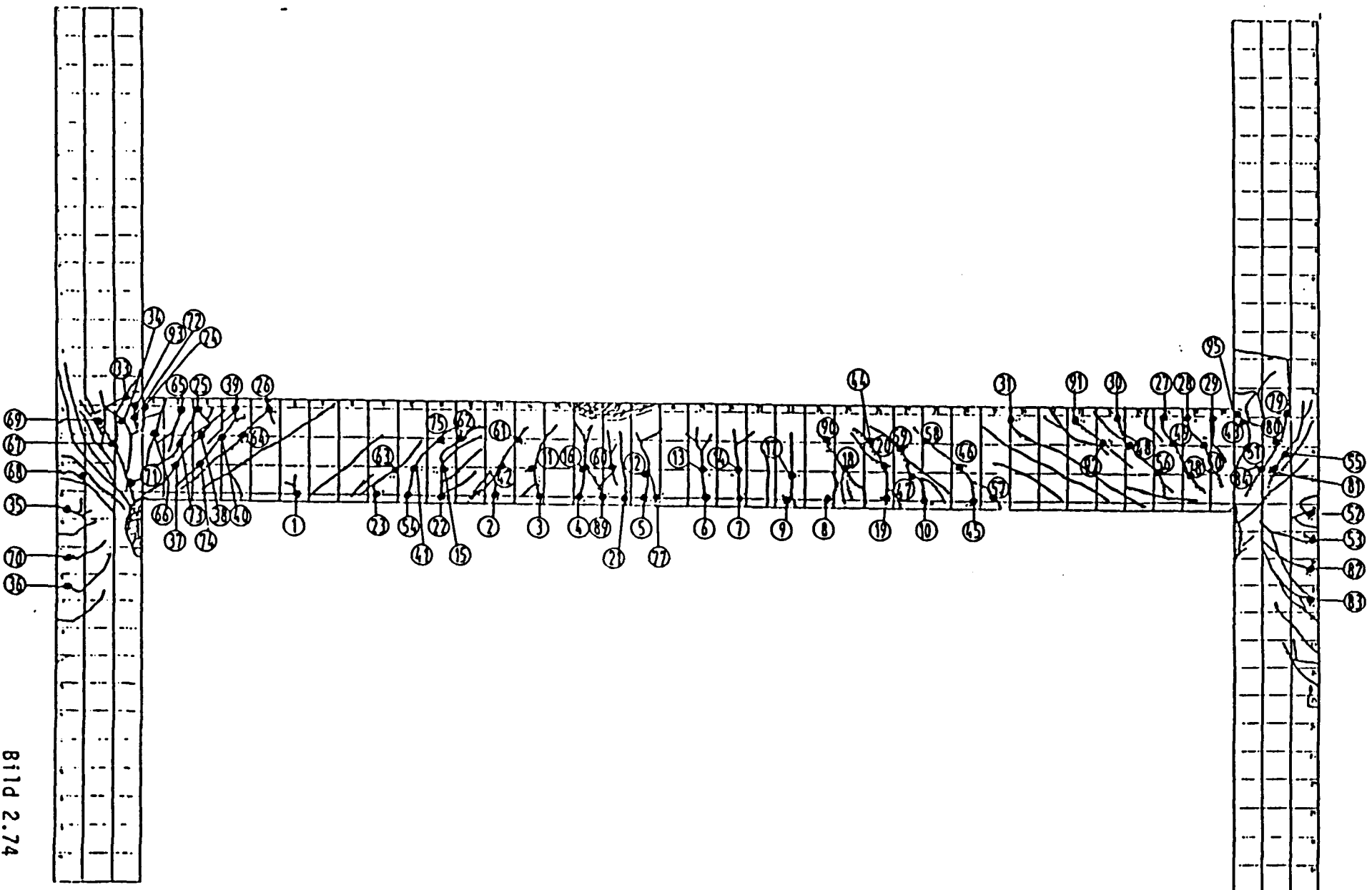


Bild 2.73

Gesamttribbild (VR 5) mit Angabe der Ribbreitenmeßpunkte (•)



Versuchsrahmen 5

Riss	Laststufe													
	3	5	7	9	11	13	14	15	28	30	32	34	37	42
	Belastung in kN													
	30	60	90	120	150	180	90	0	180	210	240	270	300	320
Rissbreite in 1/100 mm														
47	-	-	-	7	11	18	14	14	22	30	32	32	37	43
48	-	-	-	5	11	18	14	12	20	23	24	25	30	33
49	-	-	-	6	10	14	7	6	14	16	16	20	25	22
50	-	-	-	6	8	9	7	5	12	12	12	14	14	8
51	-	-	-	6	7	6	4	3	8	10	11	14	18	18
52	-	-	-	5	6	6	4	4	6	6	6	6	6	6
53	-	-	-	5	5	5	5	4	5	7	8	8	12	14
54	-	-	-	4	5	5	3	3	-	-	-	-	-	-
55	-	-	-	-	5	7	4	4	7	7	7	8	11	15
56	-	-	-	-	4	7	5	5	11	16	18	19	37	22
57	-	-	-	-	3	10	8	9	26	32	35	38	52	52
58	-	-	-	-	5	8	4	3	6	6	6	6	10	6
59	-	-	-	-	7	11	8	6	15	16	15	16	21	20
60	-	-	-	-	4	4	3	2	5	5	5	5	5	5
61	-	-	-	-	3	7	5	4	10	12	14	15	16	17
62	-	-	-	-	3	4	3	3	4	4	4	4	5	6
63	-	-	-	-	4	7	4	4	12	16	17	21	21	24
64	-	-	-	-	3	3	3	3	4	4	4	4	5	6
65	-	-	-	-	6	6	4	3	6	6	6	14	16	10
66	-	-	-	-	3	5	3	3	5	5	5	6	7	8
67	-	-	-	-	4	6	4	3	15	16	18	20	26	30
68	-	-	-	-	6	6	4	4	5	5	5	5	5	5
69	-	-	-	-	-	5	3	3	8	10	11	12	24	24
70	-	-	-	-	-	4	3	3	4	4	8	10	9	14
71	-	-	-	-	-	4	3	3	5	13	14	17	20	26
72	-	-	-	-	-	7	5	4	12	18	24	28	50	96
73	-	-	-	-	-	3	3	2	3	3	3	3	4	-
74	-	-	-	-	-	3	3	3	4	6	6	8	10	9
75	-	-	-	-	-	3	2	2	4	4	4	4	6	10
76	-	-	-	-	-	6	3	3	6	8	8	9	15	21
77	-	-	-	-	-	8	5	5	5	5	5	7	10	24
78	-	-	-	-	-	5	4	3	6	10	11	13	17	20
79	-	-	-	-	-	5	3	3	6	6	6	8	9	6
80	-	-	-	-	-	4	3	3	6	6	10	10	17	16
81	-	-	-	-	-	5	3	3	5	5	5	7	16	22
82	-	-	-	-	-	6	3	3	6	6	6	6	6	8
83	-	-	-	-	-	6	3	3	6	7	9	9	13	21
84	-	-	-	-	-	3	2	2	7	8	10	11	20	23
89	-	-	-	-	-	-	-	-	6	5	5	5	7	6
90	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	10	13	13	13
91	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	7	7	10	10
92	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	10	13	14	14
93	-	-	-	-	-	-	-	-	18	28	37	48	86	86
95	-	-	-	-	-	-	-	-	24	28	32	35	74	74

Riss	Laststufe													
	3	5	7	9	11	13	14	15	28	30	32	34	37	42
	Belastung in kN													
	30	60	90	120	150	180	90	0	180	210	240	270	300	320
Rissbreite in 1/100 mm														
1	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4
2	4	6	10	14	18	24	18	16	30	34	36	38	42	50
3	5	8	14	14	16	18	12	8	22	24	25	25	25	26
4	4	6	8	10	14	22	11	7	24	25	26	31	40	45
5	4	8	10	16	18	20	9	6	20	21	22	23	54	98
6	5	6	14	16	20	24	14	10	26	32	32	35	54	64
7	5	7	14	16	20	21	13	8	27	31	34	34	48	72
8	5	6	12	8	9	10	8	4	10	12	14	20	21	24
9	-	6	12	16	21	26	12	7	25	30	31	37	41	45
10	-	3	8	14	21	28	22	22	27	34	34	39	44	52
11	-	4	5	6	8	10	6	5	15	18	20	21	30	36
12	-	4	5	6	11	16	7	5	14	14	14	18	38	90
13	-	4	6	8	12	16	8	5	18	20	21	22	52	70
14	-	4	4	4	6	8	4	3	11	12	14	16	24	46
15	-	-	4	5	7	8	5	4	-	-	-	-	-	-
16	-	-	3	4	5	5	5	3	3	3	4	4	5	14
17	-	-	4	6	7	10	6	3	9	10	10	11	21	23
18	-	-	4	5	8	16	10	8	21	24	26	32	40	40
19	-	-	10	14	20	21	12	11	22	23	24	24	28	26
20	-	-	4	6	8	11	6	5	9	10	10	10	12	17
21	-	-	4	6	10	18	9	5	18	18	18	24	31	34
22	-	-	5	5	6	6	4	3	-	-	-	-	-	-
23	-	-	2	2	6	11	6	6	10	12	12	14	14	10
24	-	-	6	11	16	16	14	8	18	20	22	23	25	30
25	-	-	6	10	15	17	12	10	20	22	23	24	26	32
26	-	-	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4
27	-	-	6	10	13	14	12	8	13	14	14	16	18	14
28	-	-	4	9	10	11	6	4	10	10	10	11	11	7
29	-	-	6	5	6	8	5	4	12	12	13	14	18	18
30	-	-	5	14	15	20	11	9	19	24	24	26	27	36
31	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-
33	-	-	-	5	7	8	4	4	13	16	16	20	24	30
34	-	-	-	5	6	7	4	3	6	10	12	14	20	18
35	-	-	-	4	5	6	3	3	8	8	14	14	16	24
36	-	-	-	4	4	6	3	3	7	8	10	12	17	14
37	-	-	-	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	-
38	-	-	-	2	3	4	3	3	3	4	5	5	5	5
39	-	-	-	5	6	8	6	5	8	12	14	14	18	20
40	-	-	-	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
41	-	-	-	3	5	8	5	6	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	4	6	14	7	7	22	34	35	36	38	40
43	-	-	-	-	7	12	6	4	14	16	21	26	40	70
44	-	-	-	3	4	7	4	3	6	6	6	6	6	4
45	-	-	-	7	8	11	6	5	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	7	9	20	10	10	-	-	-	-	-	-

VR V

	$F_2 = 300 \text{ kN}$ konstant $F_1 \text{ kN}$	Rotationsbereich I ohne Schrägstab (links) rad. $10^{-3}$	Rotationsbereich III mit Schrägstab (rechts) rad. $10^{-3}$
Gebrauchslast	180		
Knotendrehung E-Theorie, Zust.I	180	- 1,84	- 1,84
gem. Knoten- drehung	180	- 5,0	- 4,0
Winkeländerung $\Delta\varphi_u$ (Riegel - unterer Stiel)	180	- 0,77	- 1,02
$\Delta\varphi_0$ Riegel: Stiel oben	180	+ 0,65	+ 0,40
max. Rißbreite	180	$\approx 0,2 \text{ mm}$	$\approx 0,2 \text{ mm}$

Bruchlast	325		
Knotendrehung E-Theorie, Zustd.I	325	- 3,32	- 3,32
gem. Knoten- drehung	325	- 13,3	- 12,30
Winkeländerung $\Delta\varphi_u$	325	- 3,87	- 3,61
$\Delta\varphi_0$ Riegel - oberer Stiel	325	- 10,20	+ 0,93
max. Rißbreite	325	$\approx 0,9$	$\approx 0,9$

Die Mittendurchbiegungen betrugen:

unter Gebrauchslast vor Schwellbelastung:	15,1 mm
unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung:	18,4 mm
im Versagenszustand	> 75,0 mm

Bild 2.76: VR V Knotenverformungen und maximale Rißbreiten

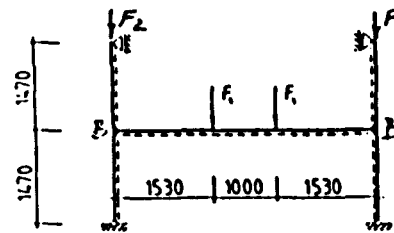


Im Verformungsverhalten ist deutlich die unterschiedliche Bewehrungsführung zu erkennen: So befindet sich der Rotationsschwerpunkt des Bereiches I im Knotenbereich, der des Bereiches III im Riegelanschnitt. Im Stielbereich des Knotens III sind nur geringfügige, dagegen im Knoten I deutliche Rotationen erkennbar. Die Knotendrehungen wurden bereits in Bild 2.11 zusammengestellt.

Keiner der beiden Rotationsbereiche war durch Schrägstäbe verstärkt; die maximalen Rißbreiten erreichen im Rotationsbereich I 0,45 mm nach Abschluß der Schwellbeanspruchung, im Rotationsbereich III ebenfalls etwa 0,45 mm. Die ersten Risse in den innenseitigen zugbeanspruchten Ecken Riegel - oberer Stiel wurden bei  $F_1 \approx 30$  kN beobachtet.

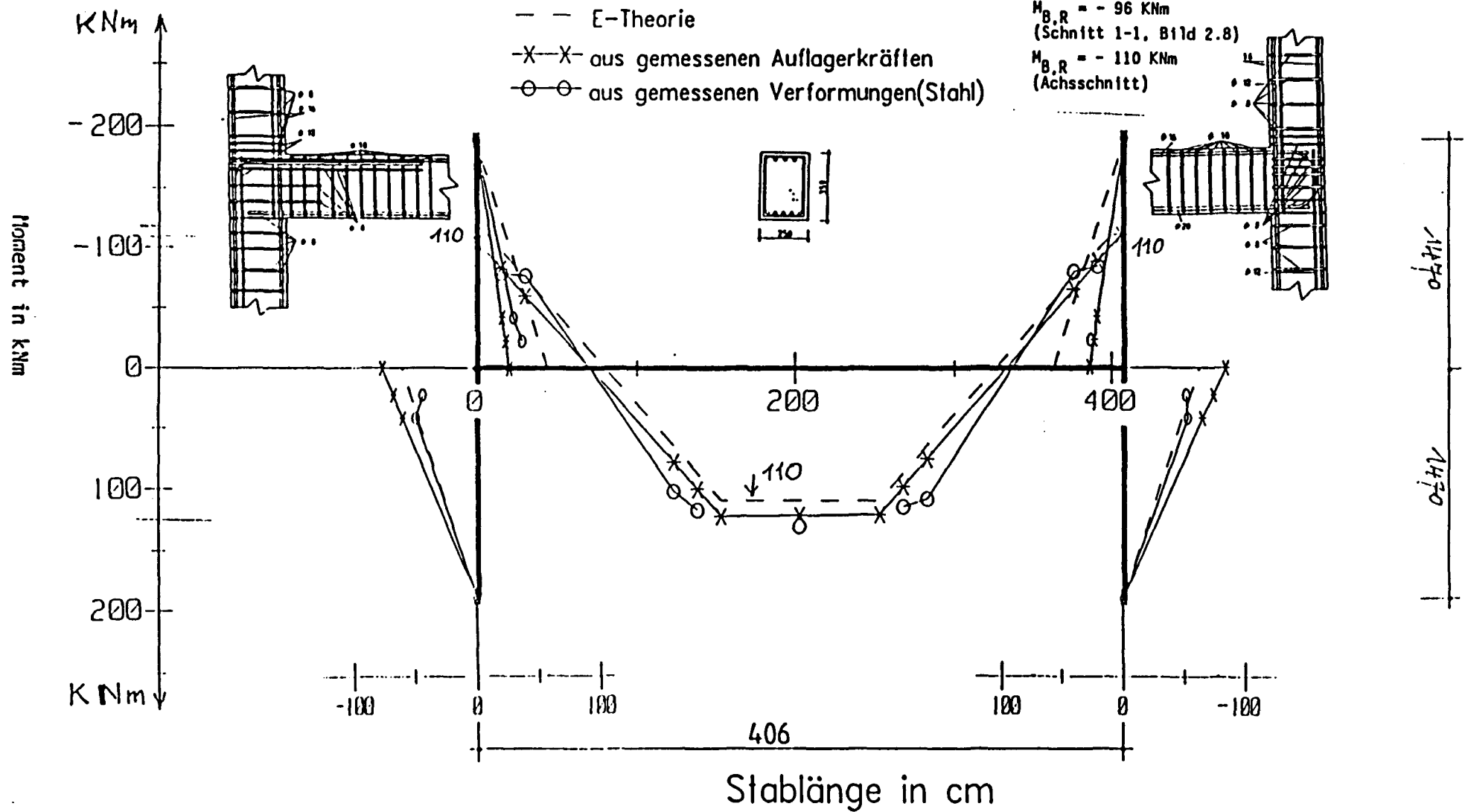
Unter Bruchlastbedingungen steigen die Rißbreiten auf 1,8 mm (Bereich I) bzw. 4,2 mm (Bereich III) an. Im Bereich III zeigten sich Anzeichen eines vertikalen Ablösungsrisses am Riegelanschnitt (RiB 45).

# Versuchsrahmen VI



**Laststufe 12      Gebrauchslast**

$F_1 = 150 \text{ kN}$        $F_2 = 300 \text{ kN}$



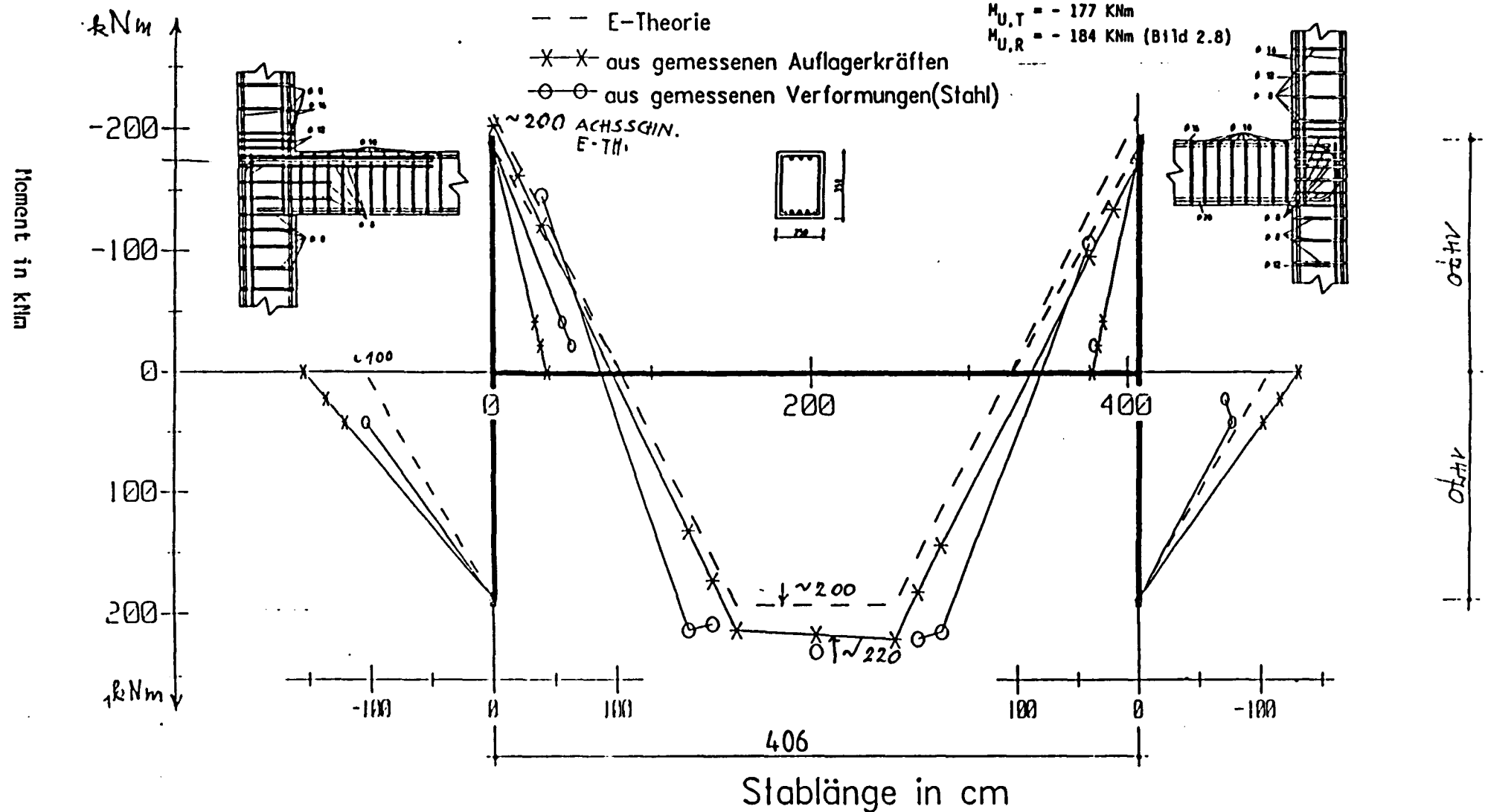
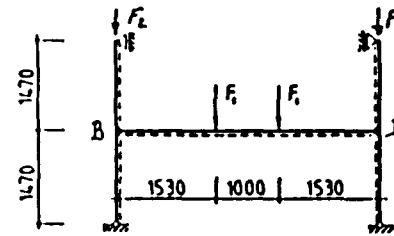


# Momentenverlauf

# Versuchsrahmen VI

Laststufe 42  $F_2 = 300 \text{ kN}$

$F_1 = 278 \text{ kN}$  (Bruchlast)



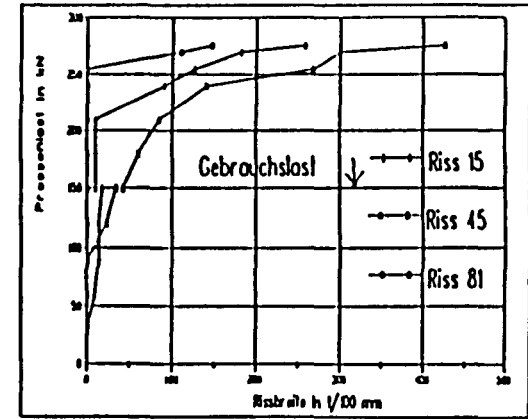
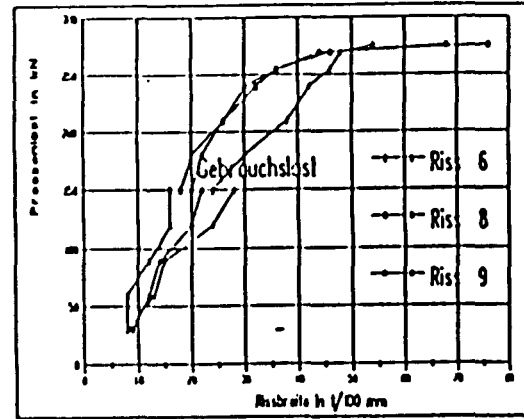
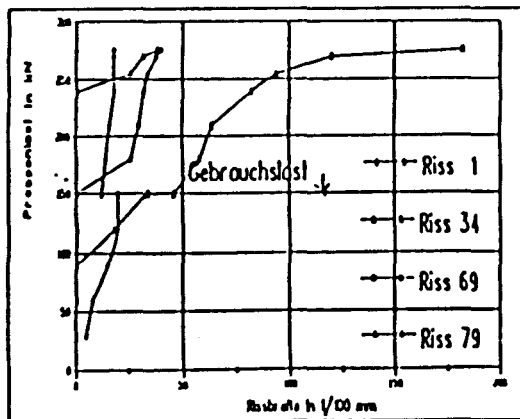
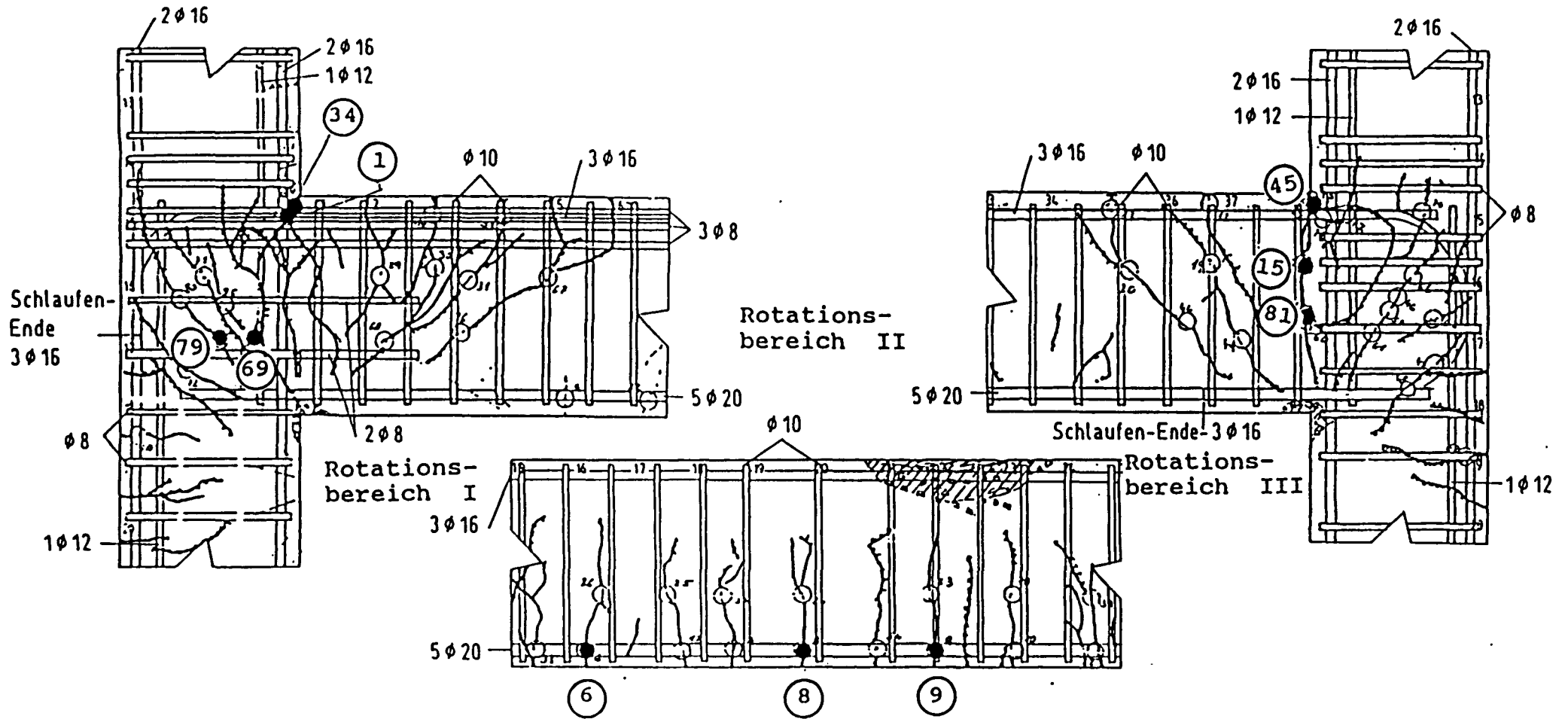


Bild 2.79

# Verformung am Versuchsrahmen

# Versuchsrahmen VI

vor bzw. nach Schwell- und Dauerbelastung

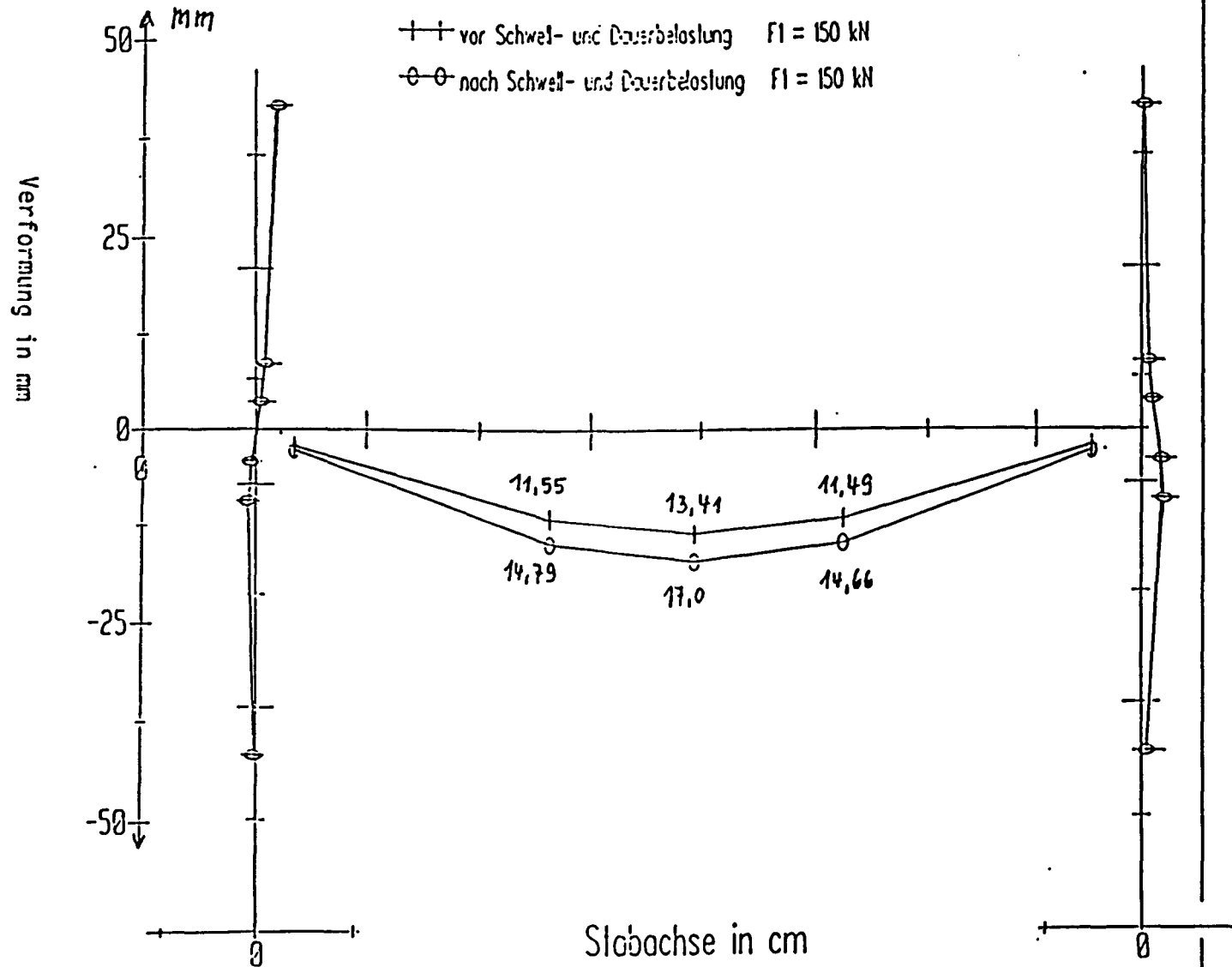
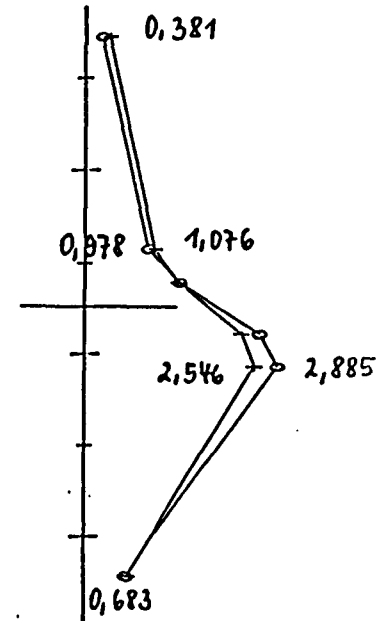
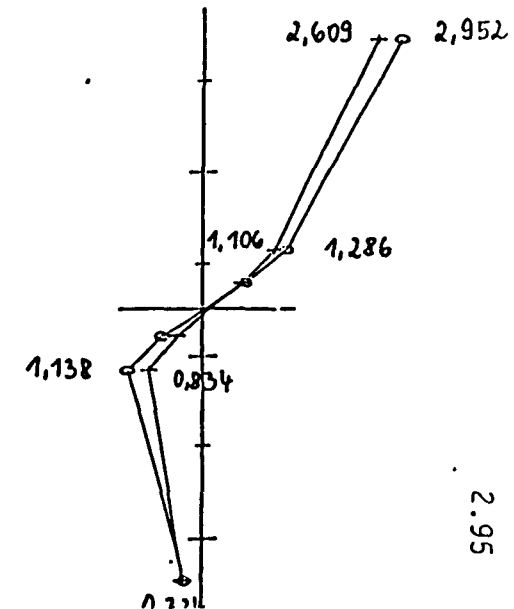


Bild 2.80

rechts



links

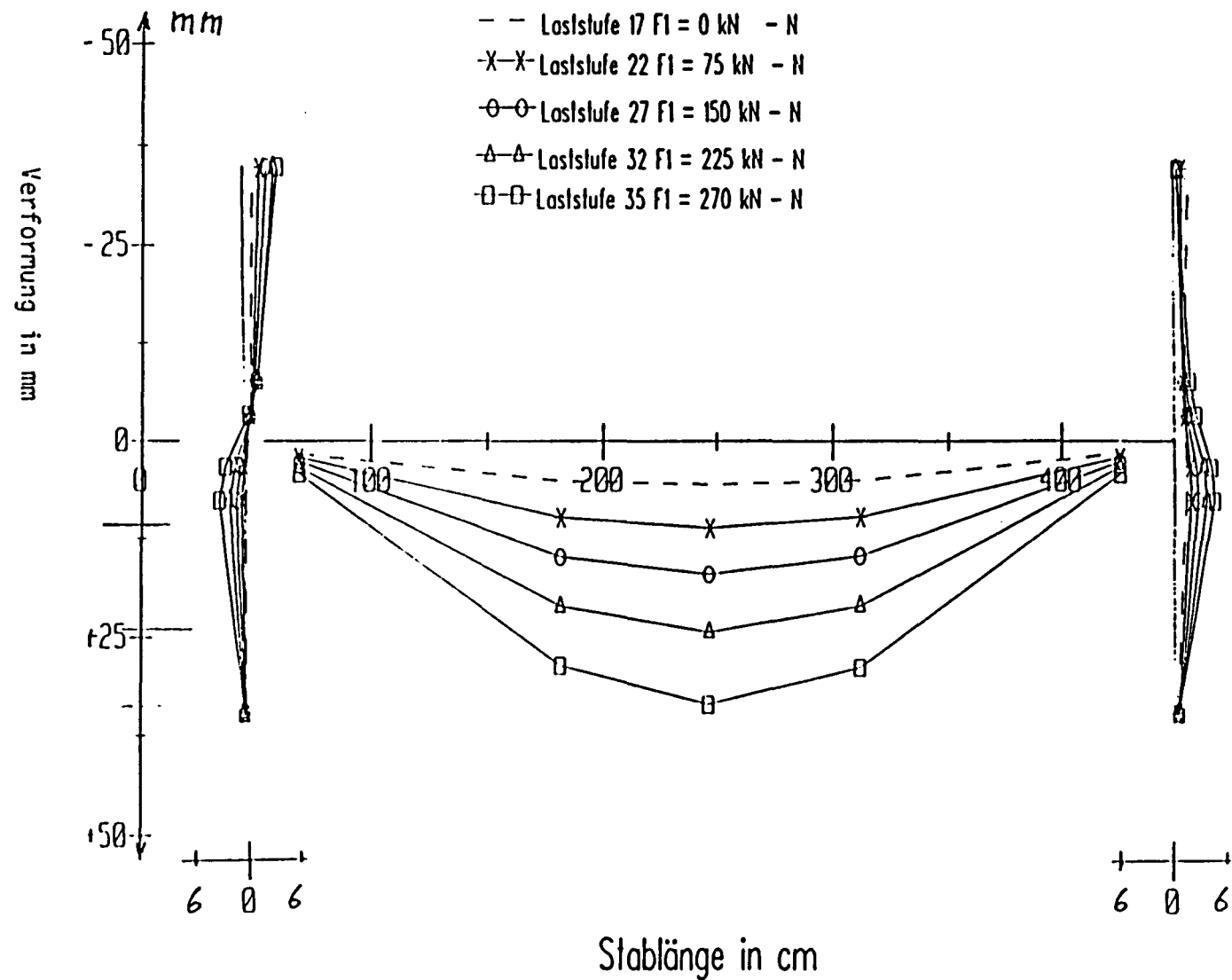


# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen VI

V - vor Schwell- und Dauerbelastung

N - nach Schwell- und Dauerbelastung



811d 2.81

# Verformung am Versuchsrahmen

## Versuchsrahmen VI

Entlastung des Riegels auf  $F_1 = 0 \text{ kN}$

Umstellung der Lasteintragung von Kraft- auf Wegsteuerung

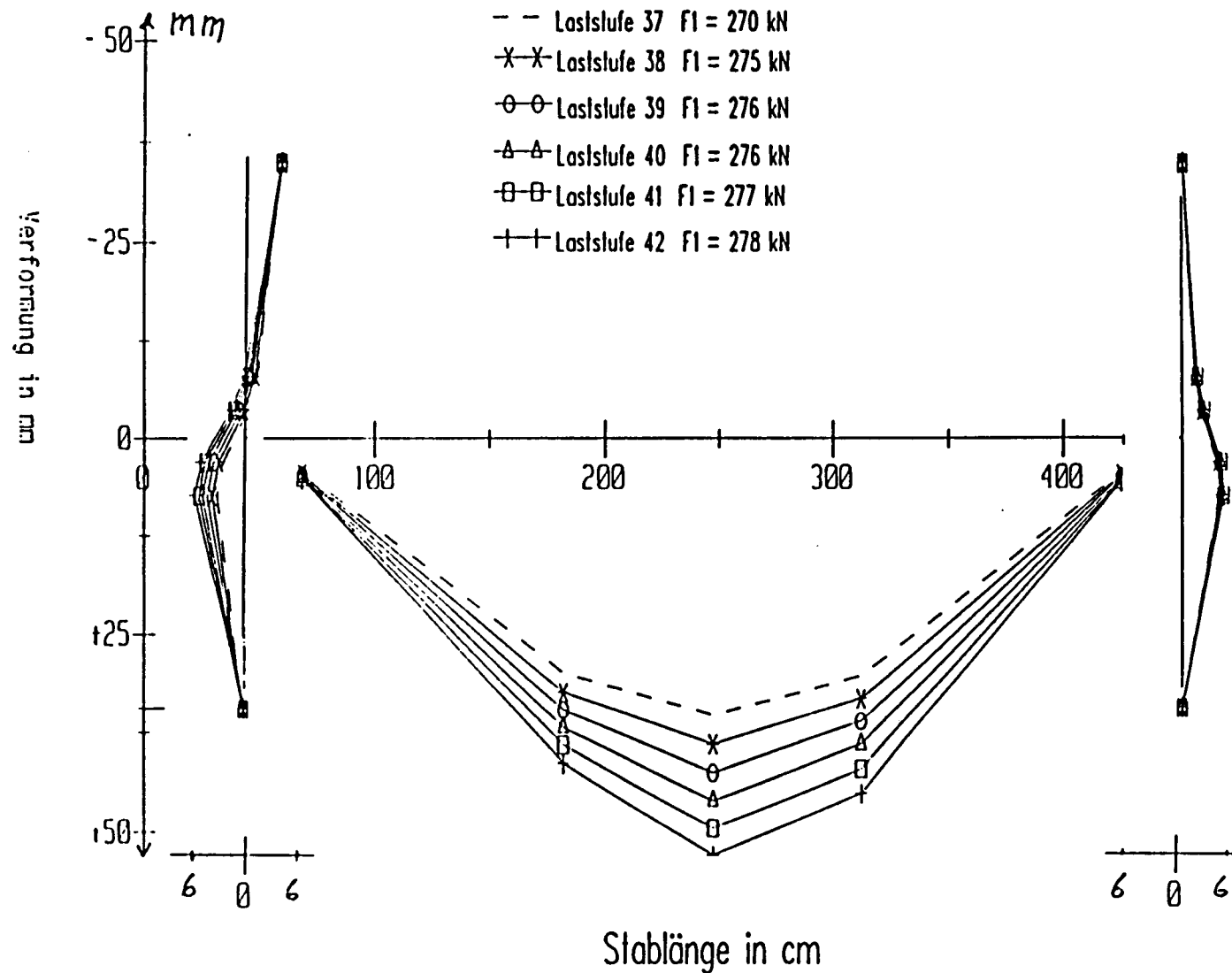
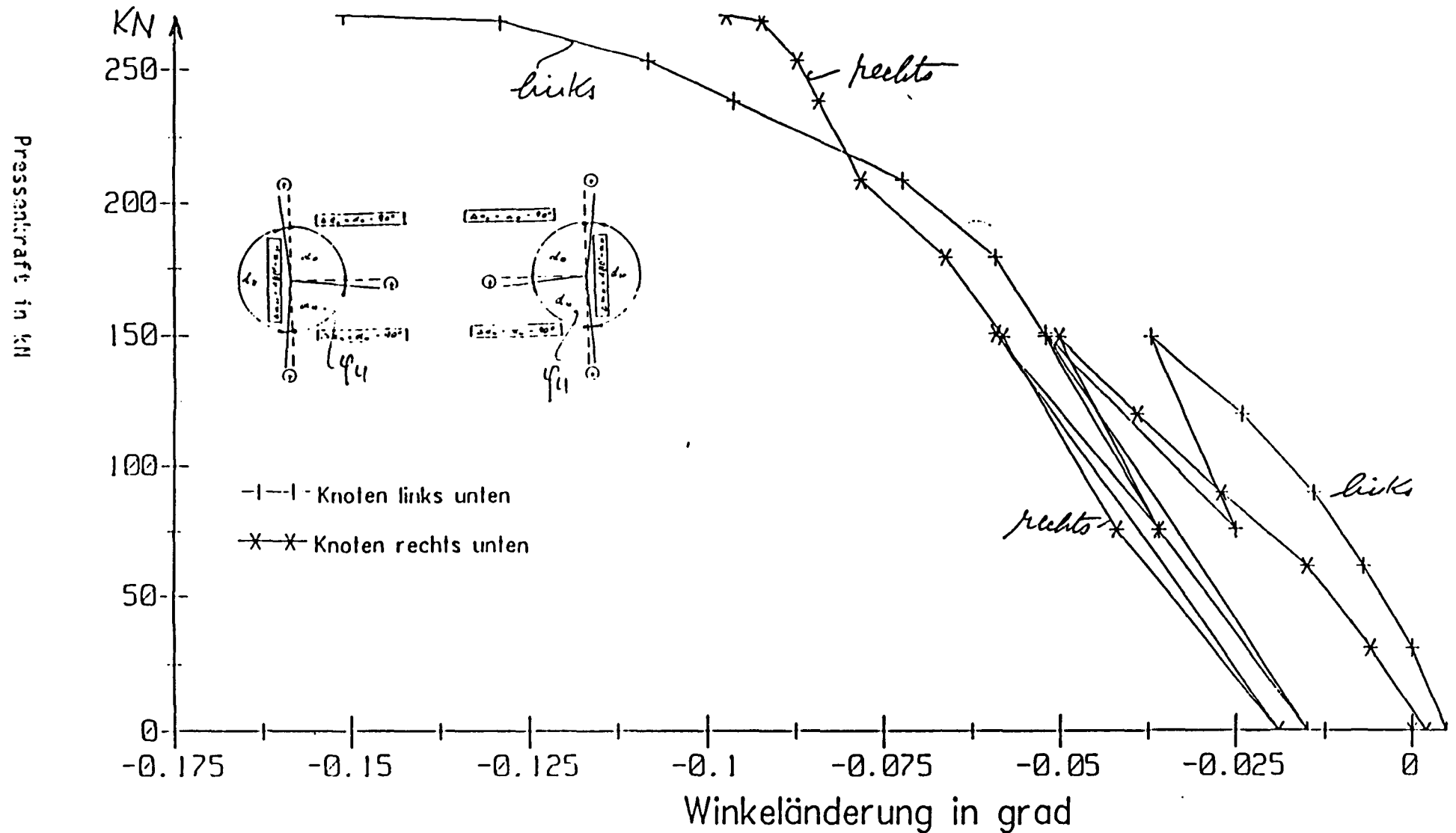
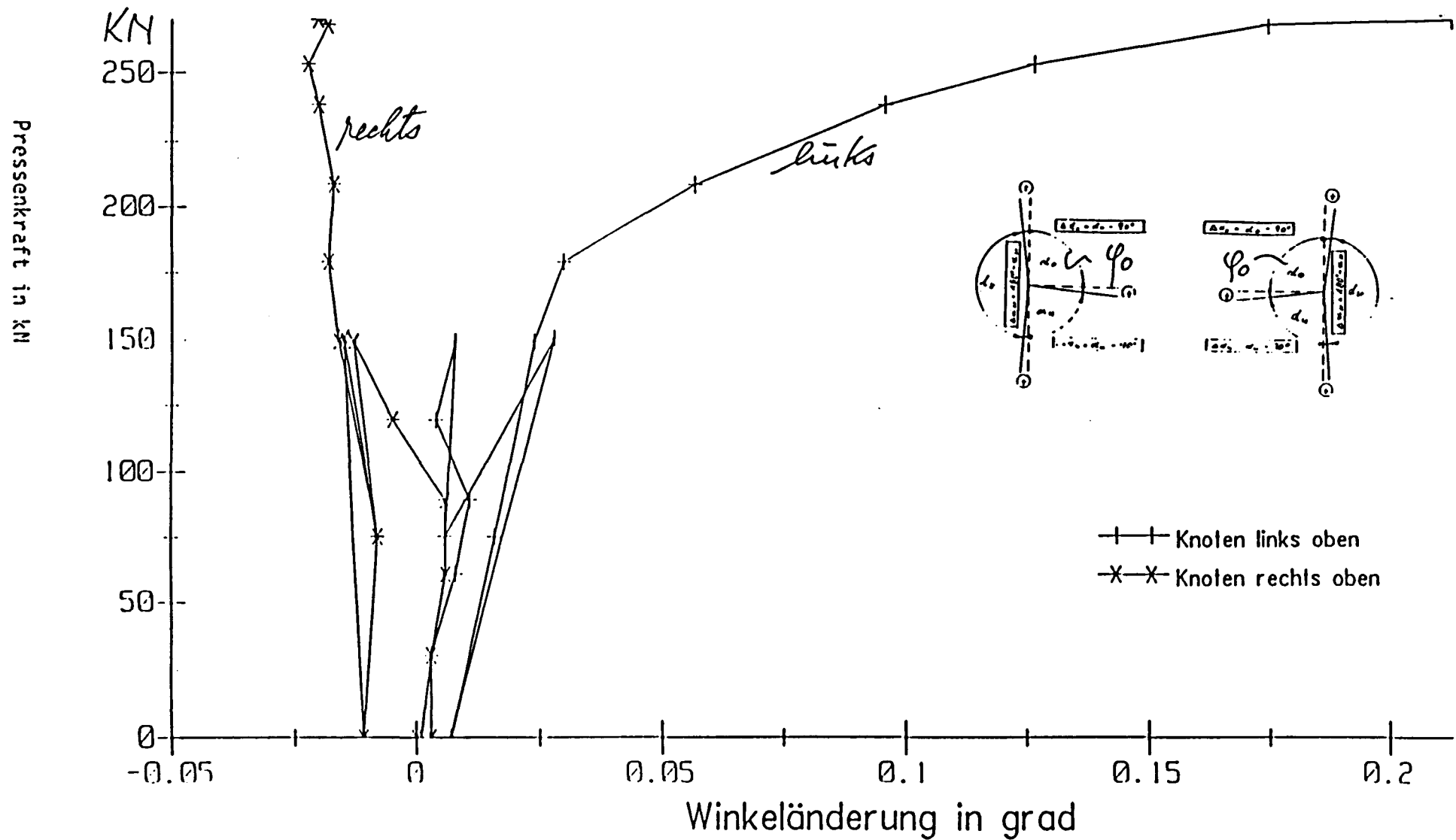


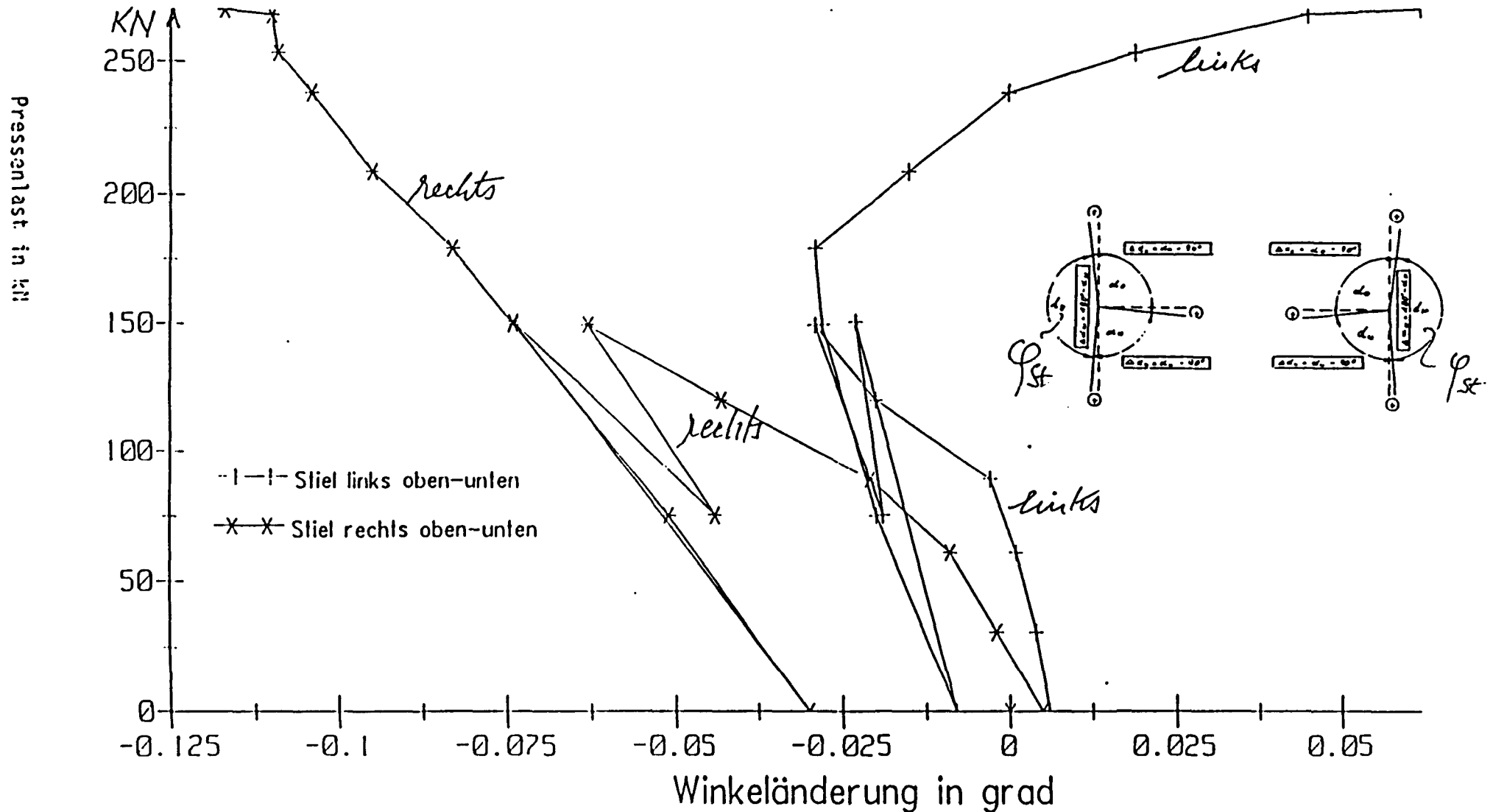
Bild 2.82

# Winkeländerung im Knotenbereich $\Delta\varphi_4$

## Versuchsrahmen VI

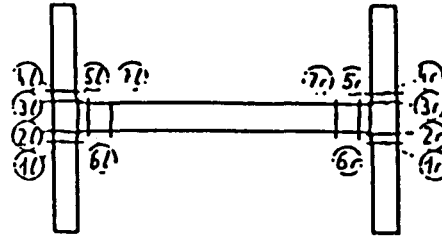




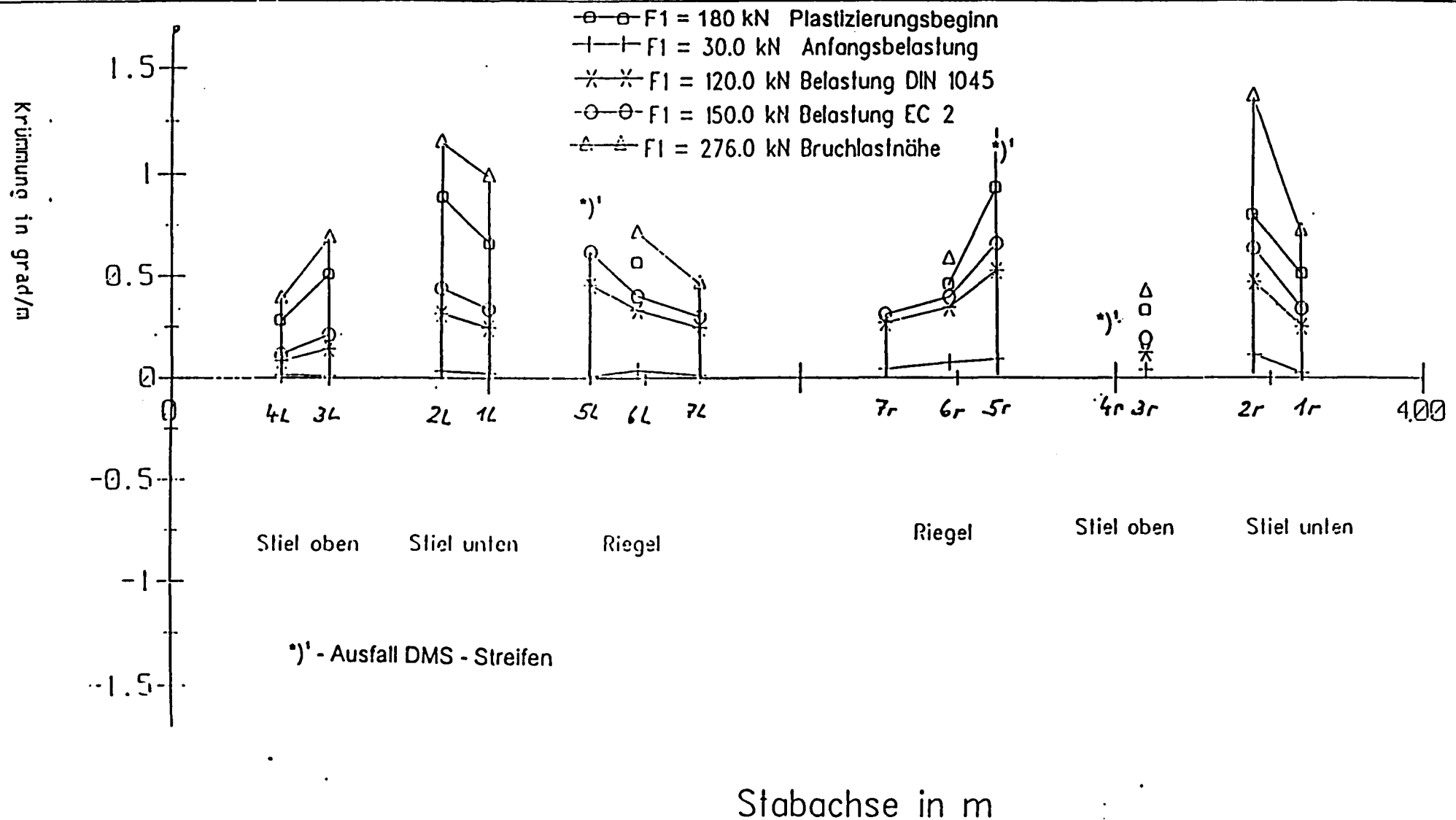




### Krümmungsverlauf im Knotenbereich



# Versuchsrahmen VI.



Rißentwicklung bis zur Gebrauchslast mit Laststufenangabe (VR 6)

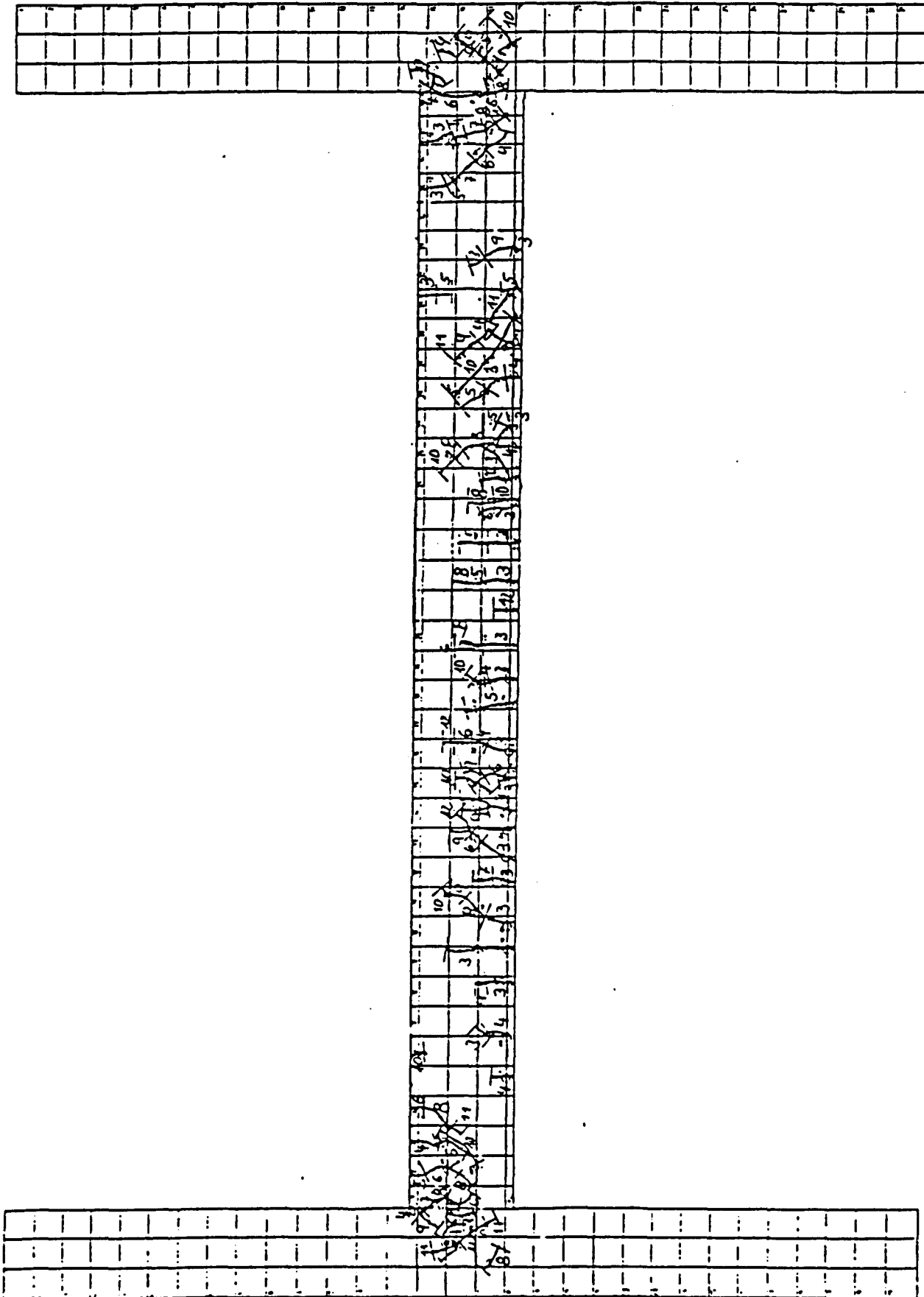


Bild 2.87

Gesamtrißbild (VR 6) mit Angabe der Ribbreitenmeßpunkte (•)

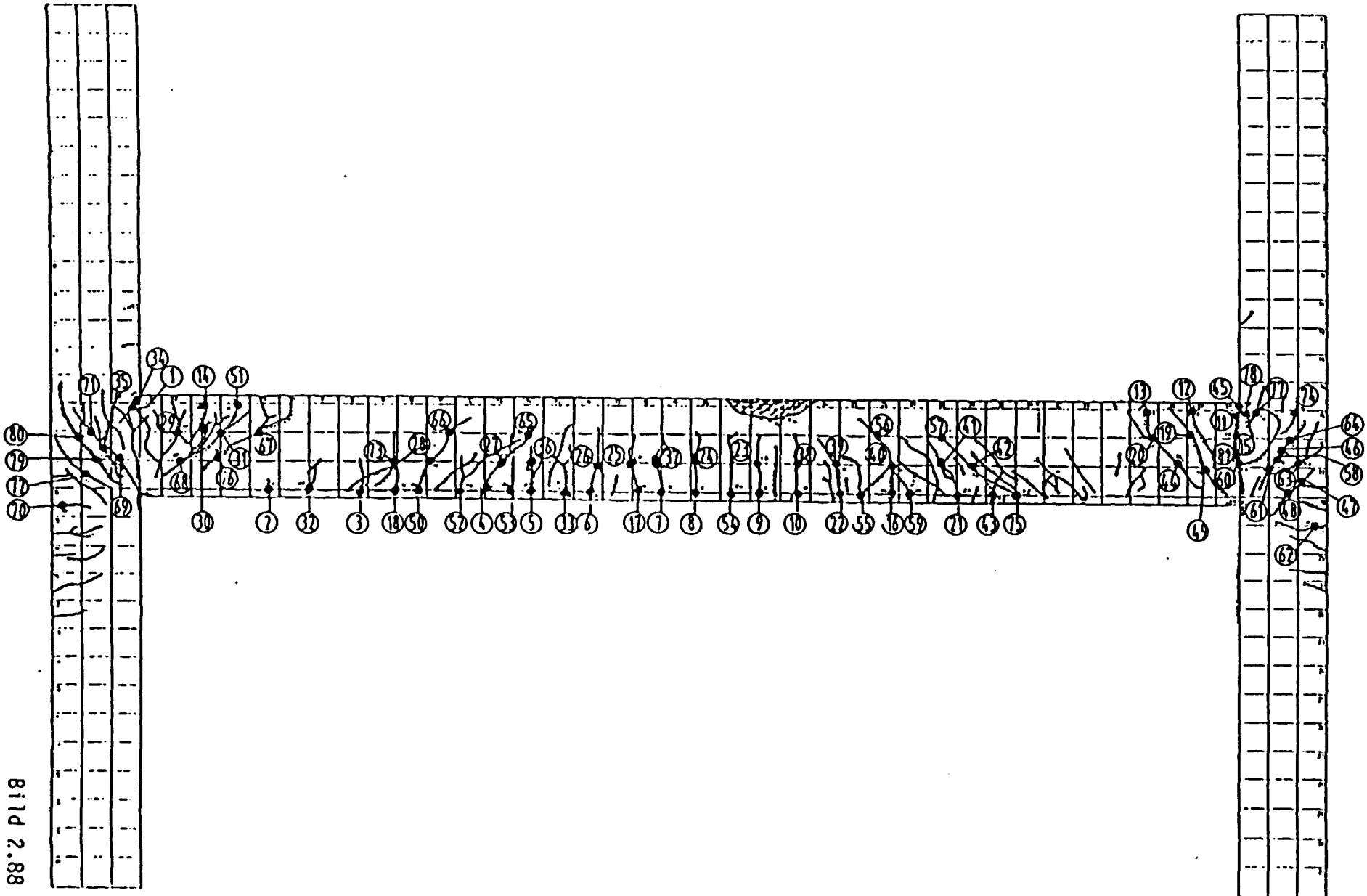


Bild 2.88

Riss	Laststufe														
	4	6	8	10	12	13	16	17	27	29	31	33	34	35	39
	Belastung in kN														
	30	60	90	120	150	75	150	0	150	180	210	240	255	270	276
	Rissbreite in 1/100 mm														
1	5	8	15	20	20	14	12	4	12	14	16	18	18	18	18
2	7	6	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6	6
3	7	7	7	7	8	7	8	6	8	10	12	12	12	12	12
4	6	8	10	13	18	14	18	8	18	20	26	30	32	32	32
5	8	11	15	21	23	14	22	8	22	25	30	32	36	38	38
6	8	13	15	24	28	14	24	8	24	30	38	42	46	48	54
7	10	12	16	17	18	14	17	6	18	20	24	26	28	30	30
8	8	8	12	16	16	10	18	5	18	20	26	32	36	46	68
9	9	12	14	20	22	13	18	7	20	22	26	30	36	44	76
10	8	13	16	19	20	12	16	4	18	19	22	22	23	-	-
11	7	11	16	16	20	16	22	5	18	18	20	26	30	40	66
12	12	16	20	28	28	20	30	10	28	32	36	38	38	38	38
13	7	7	18	22	32	22	32	12	32	36	38	40	40	40	40
14	8	11	11	12	18	14	18	6	18	21	24	24	24	24	24
15	-	9	14	14	18	11	12	4	10	10	10	90	126	182	258
16	-	11	12	14	18	13	14	4	14	18	22	22	22	22	22
17	-	6	8	12	12	8	12	2	12	16	24	28	32	36	38
18	-	8	11	12	9	8	11	4	10	12	14	14	14	14	14
19	-	-	7	15	22	16	22	12	22	26	28	28	28	-	-
20	-	-	12	18	24	18	24	12	24	26	34	36	38	38	38
21	-	-	8	12	12	8	14	4	12	12	16	18	20	20	20
22	-	-	13	17	18	10	14	4	14	15	30	36	38	38	38
23	-	-	11	12	13	7	10	3	8	8	10	12	14	24	42
24	-	-	9	11	13	8	12	3	12	14	18	18	18	30	38
25	-	-	9	9	13	7	12	4	12	14	18	18	18	18	18
26	-	-	9	11	12	7	12	3	11	14	16	20	22	22	22
27	-	-	11	13	21	15	21	12	22	26	34	36	36	36	36
28	-	-	8	17	26	20	20	12	20	24	28	30	30	30	30
29	-	-	12	14	16	12	12	4	10	12	14	14	14	14	14
30	-	-	7	9	9	8	8	3	6	8	10	12	12	12	12
31	-	-	9	11	12	8	14	4	12	18	20	20	20	20	20
32	-	-	5	6	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4
33	-	-	-	-	19	10	20	6	22	26	28	32	36	36	36
34	-	-	-	18	34	30	42	12	46	58	64	82	94	120	182
35	-	-	-	10	13	10	16	6	16	24	30	30	30	30	30
36	-	-	-	9	10	8	8	2	8	8	10	10	10	10	10
37	-	-	-	7	9	6	10	4	8	10	12	12	12	12	12
38	-	-	-	10	14	8	12	4	12	14	18	22	22	24	56
39	-	-	-	10	12	7	12	3	12	18	24	24	24	24	24
40	-	-	-	17	24	14	30	16	32	36	42	46	48	48	48
41	-	-	-	12	14	10	12	8	12	14	16	16	16	16	16
42	-	-	-	12	23	14	24	11	24	30	36	38	38	38	38
43	-	-	-	10	11	10	10	5	10	12	14	16	16	16	16
44	-	-	-	11	14	9	14	5	12	14	18	19	18	18	18
45	-	-	-	23	34	22	36	13	42	60	84	140	258	300	426
46	-	-	-	9	15	10	18	6	14	18	20	20	20	20	20
47	-	-	-	8	10	7	12	4	12	14	19	20	20	20	20
48	-	-	-	5	7	5	10	4	8	10	14	16	18	18	18
49	-	-	-	13	16	10	22	14	22	26	30	32	32	32	32
50	-	-	-	-	19	17	19	10	20	24	28	32	32	32	32
51	-	-	-	-	16	14	17	7	16	20	22	23	24	24	24
52	-	-	-	-	16	13	22	12	22	34	38	48	52	52	52
53	-	-	-	-	11	8	12	4	10	15	18	22	23	24	24
54	-	-	-	-	12	10	12	4	12	18	23	26	26	26	26
55	-	-	-	-	12	7	14	3	14	14	17	22	24	28	36
56	-	-	-	-	11	8	12	6	12	16	20	22	22	22	22
57	-	-	-	-	13	10	14	5	12	14	18	18	18	18	18
58	-	-	-	-	18	10	18	8	18	22	22	24	24	24	24
59	-	-	-	-	22	15	22	10	22	26	30	36	40	40	40
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	20	26	28	28	28
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	20	22	22	22	22
62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	16	18	18	18	18
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	8	8	8	8
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	16	18	18	18	18
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10	10	10	10	10
66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	14	14	14	14	14
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	18	22	24	26	28
68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	16	18	18	18	18
69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	30	32	34	38	40
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	18	20	20	22	22
71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	20	22	24	24	24
72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	13	16	18	18	18
73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	18	18	20	20	20
74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	10	10	12	12	12
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	52	54	54	54
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	14	14	14	14
77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	22	22	22
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	42	42	42
79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	32	38	38
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	32	32	32
81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	146	146

## VR VI

	$F_2 = 300 \text{ kN}$ konstant $F_1 \text{ kN}$	Rotationsbereich I ohne Schrägstab (links) rad. $10^{-3}$	Rotationsbereich III ohne Schrägstab (rechts) rad. $10^{-3}$
Gebrauchslast	150		
Knotendrehung E-Theorie, Zust.I	150	- 1,53	- 1,53
gem. Knoten- drehung	150	- 3,5	- 3,3
Winkeländerung $\Delta\varphi_u$ (Riegel - un- terer Stiel) $\Delta\varphi_o$ (Riegel - obe- rer Stiel) $\Delta\sigma_t$ (Knick zwischen Stiel oben: unten)	150	- 0,65 + 0,14 - 0,51	- 0,88 - 0,23 - 1,11
max. Rißbreite mm	150	0,45	0,45

Bruchlast	278		
Knotendrehung E-Theorie, Zustd.I	278	- 2,81	- 2,81
gem. Knoten- drehung	278	- 11,6	- 9,0
Winkeländerung $\Delta\varphi_u$ $\Delta\varphi_o$ $\Delta\sigma_t$	278	- 2,65 + 3,73 + 1,09	- 1,70 - 0,35 - 2,05
max. Rißbreite mm	278	1,8	4,2

Die Mittendurchbiegungen betrugen:

unter Gebrauchslast vor Schwellbelastung: 13,4 mm  
unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung: 17,0 mm  
im Versagenszustand > 50,0 mm

Bild 2.90: VR VI Knotenverformungen und maximale Rißbreiten

## **Zusammenfassung der Versuchsergebnisse**

**Abschnitte 2.8 - 2.9**

## 2.8 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

### 2.8.1 Tragverhalten

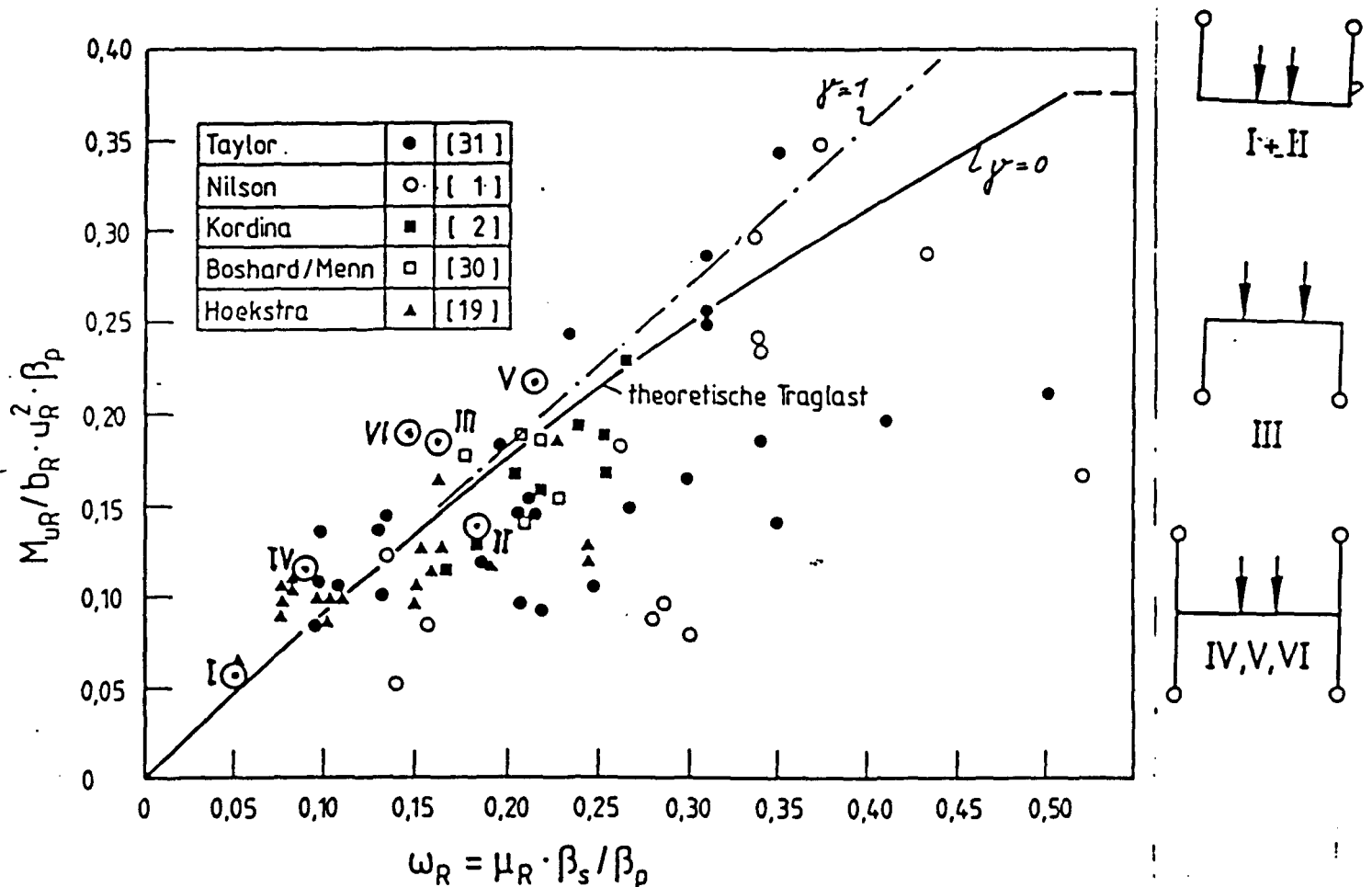
Aufgrund der Beobachtungen über die Wirksamkeit einzelner Bewehrungsführungen in älteren Versuchen [1, 2, 5, 8] wurden in der neuen Versuchsreihe nur solche Bewehrungsführungen gewählt, die einen Wirkungsgrad  $\eta = M_{U,T}/M_{U,R} = 1,0$  versprachen (vgl. Tab. Bild 2.12,  $M_{U,T}/M_{U,R}$ ). Tatsächlich wurden Wirkungsgrade von 0,84 bis 1,07, i.M. von 0,95, erreicht, so daß insofern auch bei Verwendung von BSt 500/550 noch von einem befriedigenden Ergebnis ausgegangen werden darf. Die in den Bildern 2.92 und 2.93 eingetragenen Versuchswerte zeigen jedoch etwas niedrigere Werte  $\eta$  als die älteren Versuche mit BSt 420/450 aufwiesen. Insbesondere die Versuche I und II - Rahmenecken unter positivem Moment - ergaben einen signifikant kleineren Wirkungsgrad als erwartet (vergl. Bild 2.91 und 2.92). Einen Hinweis auf die Ursachen des mangelhaften Ergebnisses von Versuch VR II könnte Bild 2.122 - Vergrößerung der Rißbreite in einer Rahmenecke nach Ermüdungsbeanspruchung - geben.

Unterschiede im Tragverhalten in Abhängigkeit von der Bewehrungsführung waren insoweit nicht erkennbar, als das Versagen der Rahmen stets - trotz Überbewehrung - im Bereich der Riegelmitte eintrat oder dort eingeleitet wurde. Allerdings war die Erschöpfung des Tragvermögens in Riegelmitte regelmäßig unmittelbar vom Versagen in einem oder beiden Knoten gefolgt. Das Versagen im Knotenbereich war durch Beton-Druckbruch im Anschluß "unterer Stiel - Riegel" begleitet, sofern negative Eckmomente vorlagen oder überwogen.

Von Bedeutung ist die Beobachtung, daß die Anordnung einer Schrägbewehrung im Bereich positiver Eckmomente stets zu einer fühlbaren Versteifung dieses Knotens führte, die Breite des Eckrisses gegenüber Bewehrungsführungen ohne Schrägbewehrung im Versagenszustand deutlich verminderte, aber in keinem Falle Versagen (Zugbruch) der Schrägbewehrung auftrat, obwohl regelmäßig die Fließgrenze erreicht wurde. Auch im Rahmen dieser Versuchsreihe wurde deutlich, daß bei Rahmenecken auf Schrägbewehrungen verzichtet werden kann, wenn der Riegelbewehrungsgrad etwa 0,4 % bzw.  $\omega_R = 0,06$  nicht überschreitet (siehe [2, 13] sowie DIN 1045). Bei Rahmen-Endknoten liegt dieser Grenzbeehrungsgehalt bei etwa 0,6 % bzw.  $\omega_R = 0,09$ , weil sich das Riegeleinspannmoment auf beide Stützenanschlüsse verteilt.

Die Versteifung von Endknoten im positiven Momentenbereich durch Schrägbewehrung ist insofern nachteilig, als dies einer Schnittgrößenumlagerung zu Lasten des anschließenden Feldmomentes entgegenwirkt, wo eine erhöhte Bewehrung ohne Schwierigkeiten eingebaut werden könnte, während Schrägbewehrungen oft nur mit Mühe untergebracht werden können. Die Breite des Eckrisses im Gebrauchszustand kann - wie die vorliegenden Versuche zeigten - auch ohne Schrägbewehrung hinreichend begrenzt werden (Abschn. 2.8.8); allzu große Bedenken bei einer begrenzten Überschreitung der angestrebten Rißbreite sind bei diesen Rissen nicht angebracht, weil hier ungünstige Kerbspannungen mit vergleichsweise geringer Rißtiefe zusammentreffen.

Es folgen drei Diagramme (Bilder 2.91 bis 2.93) mit Darstellung der Knotenbruchmomente bzw. Wirkungsgrade ( $\eta = M_{U,T}/M_{U,R}$ ) in Abhängigkeit vom Riegelbewehrungsgrad.

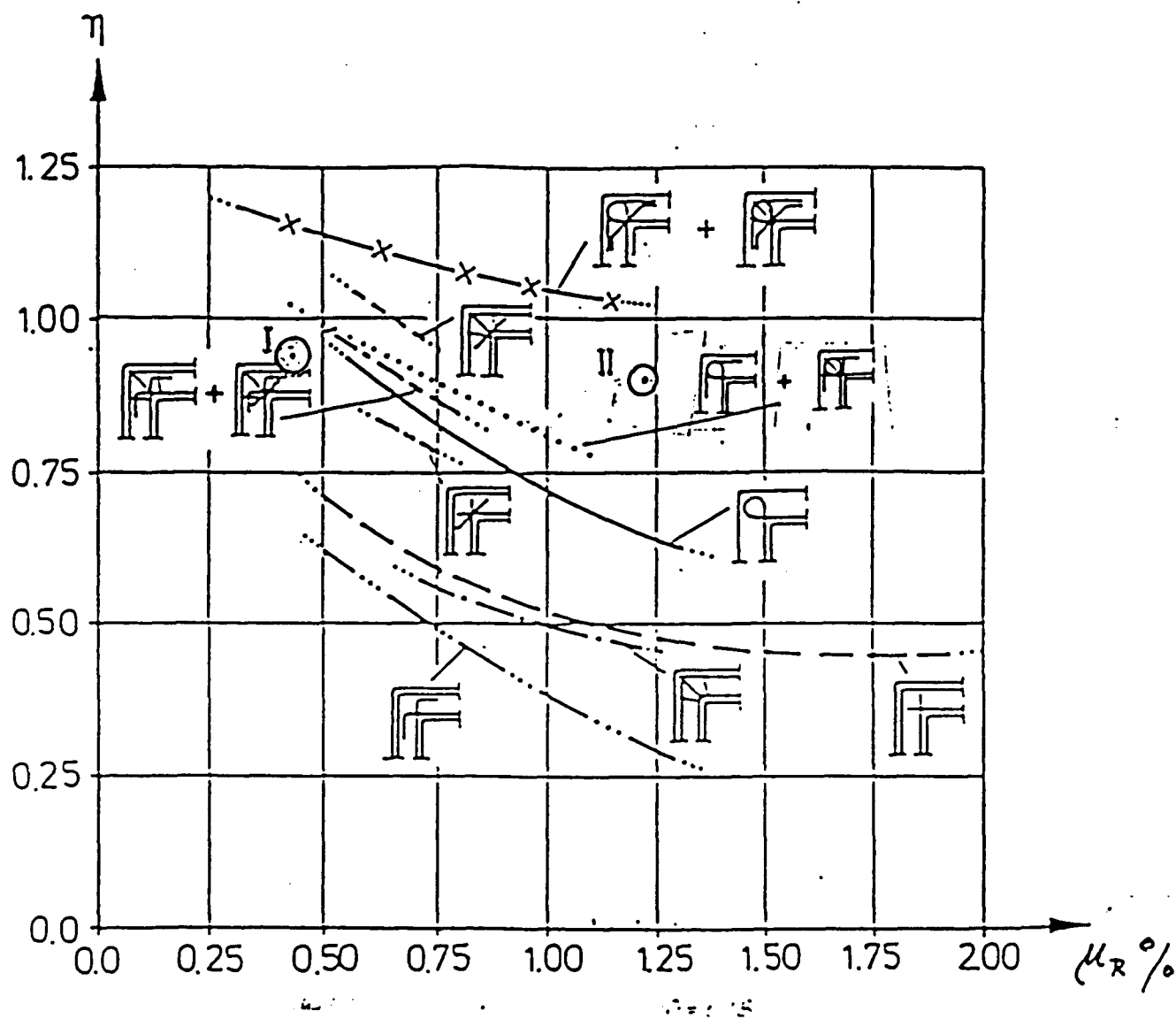


#### Versuche I - VI

Bild 2.91: Bezogene Bruchmomente von Rahmenecken und Rahmenendknoten in Abhängigkeit vom mechanischen Riegelbewehrungsgrad ( $\gamma = 0 : A_s' = 0$ ;  $\gamma = 1 : A_s = A_s'$ )

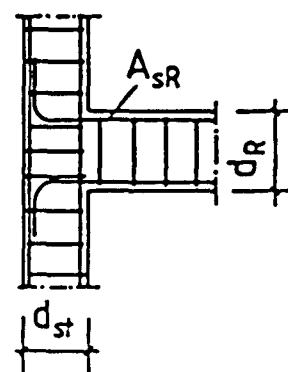
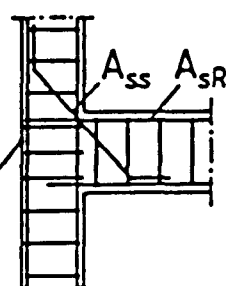
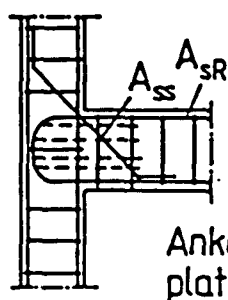
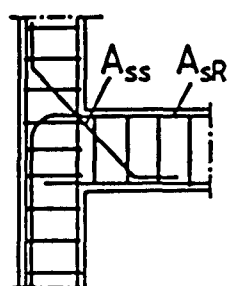
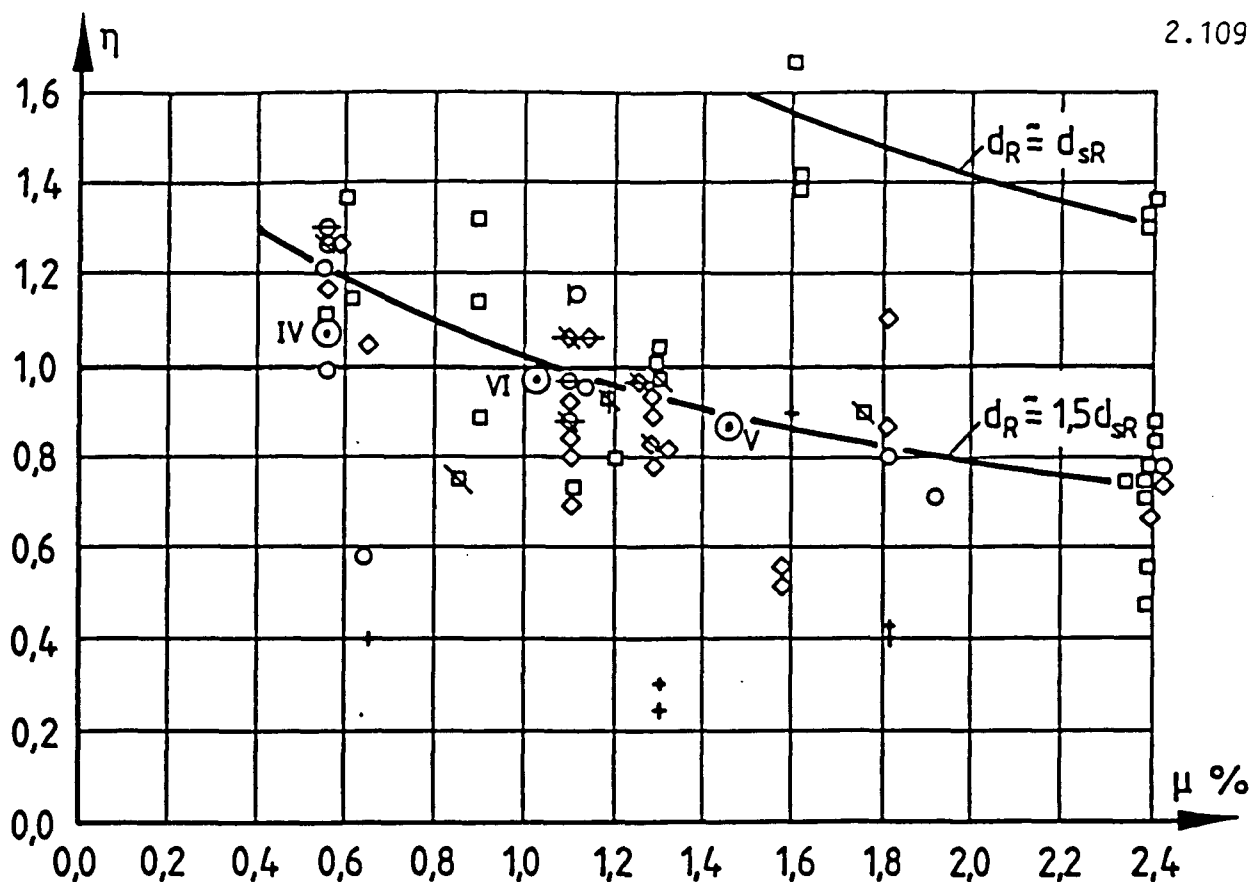


Ein Wirkungsgrad von  $\eta = 1,0 = M_{U,T}/M_{U,R}$  ergibt sich, wenn das im Versuch erzielte Bruchmoment  $M_{U,T}$  gleich dem unter Verwendung der vorhandenen Baustoffgüten errechnete Bruchmoment  $M_{U,R}$  im Schnitt 1-1 (Bild 2.9) wird. Dieses günstige Ergebnis hängt u.a. von der Bewehrungsführung ab und wird oftmals verfehlt.



○ VR I+II

Bild 2.92: Wirkungsgrad  $\eta = M_{U,T}/M_{U,R}$  in Abhängigkeit vom Riegelbewehrungsgrad bei positivem Eckmoment (vergl. Tab. Bild 2.12, Spalte 11)



□ ohne  $A_{SS}$   
 ✕ mit Schrägbe-  
 wehrung  $A_{SS}$   
 ⊕ zusätzl.  
 Stützenbügel

✕ mit  $A_{SS}$  und  
 Riegelbew. z. T.  
 als horizontale  
 Schlaufe

⊙ VR IV-V-VI

◇ ohne  $A_{SS}$   
 ✕ mit  $A_{SS}$   
 ✕ mit  $A_{SS}$  und  
 Steckbügel

○ Schlaufen-  
 verankerung  
 ⊕ Ankerplatte  
 ✕ mit  $A_{SS}$  und  
 Ankerplatte

+  $A_{SR}$  nach  
 außen ab-  
 gebogen

Bild 2.93: Rahmenendknoten; Wirkungsgrad verschiedener Bewehrungsführungen nach Versuchen von [1, 2] sowie hier gemäß Tabelle Bild 2.12, Spalte 11

### 2.8.2 Bewehrungsführung in Rahmenecken- und Endknoten

Die geprüften Eckbewehrungen sind auf den Bildern 2.15 und 2.27 für die zweistieligen Rahmen mit positiven Eckmomenten VR I und VR II und auf Bild 2.39 für den Vergleichsrahmen VR III mit negativen Eckmomenten dargestellt.

Die Knotenbewehrungen der H-förmigen Rahmen VR IV, V und VI sind auf den Bildern 2.52, 2.65 und 2.79 zu finden.

Vollständige Bewehrungspläne der Versuchsrahmen sind im Anhang enthalten.

Die beiden Eckbewehrungen im H-Rahmen VR VI (Bild 2.79) enthalten keinen Schrägstab; erwartungsgemäß zeigten sich vergleichsweise größere Rißbreiten mit max. 0,45 mm im Gebrauchszustand. Vor allem die im rechten Knoten gewählte Bewehrungsführung erwies sich insofern als weniger empfehlenswert, als sich - ausgehend vom Kehlriss - sehr früh ein fast lotrecht verlaufender Trennriß am Anschnitt des Riegels einstellte, der das Versagen des Rahmens einleitete. Die Ursache hierfür dürfte im Fehlen einer Verstärkung der Riegel-Biegezugbewehrung im Anschluß zum Stiel zu suchen sein; zum Vergleich: die innenseitige Bewehrung des oberen Stieles wurde durch eine Zulage verstärkt. In diesem Versuch sollte jedoch geprüft werden, ob auf diese Bewehrungsverstärkung im Riegel verzichtet werden kann.

Aufgrund der in der neuen Versuchsreihe gewonnenen Ergebnisse lassen sich folgende Empfehlungen zur Bewehrungsführung im Riegelanschnitt geben:

#### 2.8.2.1 Rahmenecken mit positivem Moment:

a) Riegelbewehrungsprozentsatz  $\rho_R = A_{S,R}/b \cdot d \leq 0,4 \%$  (VR I) bzw.  $\omega_R \leq 0,06$

Eine schlaufenförmige Bewehrungsführung, wie z.B. in DIN 1045, Bilder 30 und 31 gezeigt, ist für Bauteile mit einer Dicke bis etwa  $h = 100$  cm zu empfehlen. Wird  $h > 100$  cm, sind die Hinweise in DIN 1045 Abschn. 18.9.3(2)a sowie (3) zu beachten. Der Einbau einer Schrägbewehrung ist insoweit entbehrlich, als die Breite  $w$  des Kehlrisses unter Gebrauchslast nach Schwellbelastung etwa 0,25 mm nicht überschreitet.

Bild 2.94 zeigt die hier untersuchte Bewehrungsführung mit  $A_{S,R} = 3,39 \text{ cm}^2$ .

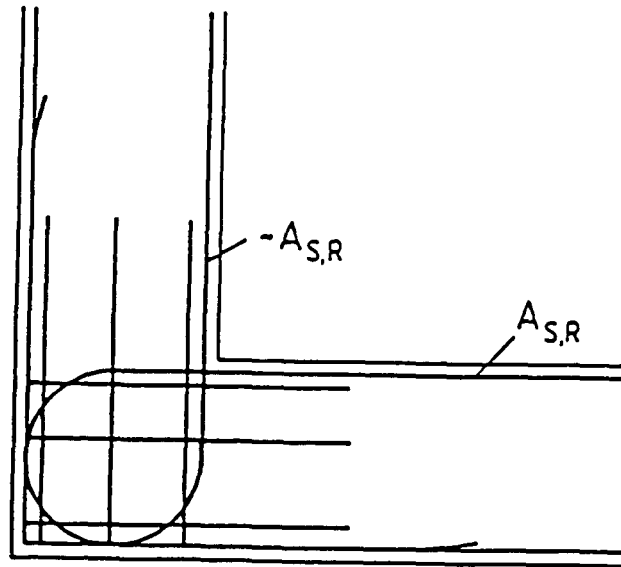


Bild 2.94: VR I, Riegel-Eckbewehrung beiderseits  $\rho_R \leq 0,44 \%$   
 Ribbreite  $w \approx 0,25$ , auch ohne Schrägstab

b) Riegelbewehrungsprozentsatz  $\rho_R > 0,4 \%$  (VR II)

Wird die Riegelbewehrung im Anschnitt  $\rho_R > 0,4 \%$ , ist eine Begrenzung der Ribbreite  $w$  auf  $\leq 0,25$  mm nach Schwellbelastung vorzugsweise mit Schrägbewehrung zu sichern. Im übrigen gelten die Anmerkungen zu a) unverändert.

Bild 2.95 zeigt eine der hier untersuchten und für gut befundenen Bewehrungsführungen für einen Bewehrungsprozentsatz von  $\rho_R = A_{S,R}/b \cdot d = 1,21 \%$  ( $3 \phi 20 = 9,42 \text{ cm}^2$ , Schrägbewehrung  $2 \phi 16 = 4,02 \text{ cm}^2$ ).

Eine Eckbewehrung ohne Schrägstäbe dürfte auch zu befriedigenden Ribbreiten  $w \approx 0,3$  mm führen, wenn Stiel- und Riegelzugbewehrung im Eckbereich durch Zulagen mit jeweils etwa  $1/2 A_{S,R}$  verstärkt werden, wie dies bei VR V versucht wurde. Diese Zulagen können nach den Grundsätzen für Stabbündel seitlich oder in der Ebene der Schlaufe - z.B. bei Platten - an die Biegebewehrungsstäbe angebunden werden oder in Form von Steckbügeln ausgeführt werden (vergl. Bild 2.95 sowie Erläuterungen in 2.8.2.3). Wesentlich ist, daß diese Zulagen bis an die Stiel-Außenseiten heranreichen, um die Umlenkung der inneren Kräfte im Knotenbereich sicherzustellen. Bei nicht ausgesteiften, selbst stabilisierenden Rahmenkonstruktionen ist die Vorzeichenumkehr des Eckmomentes zu berücksichtigen!

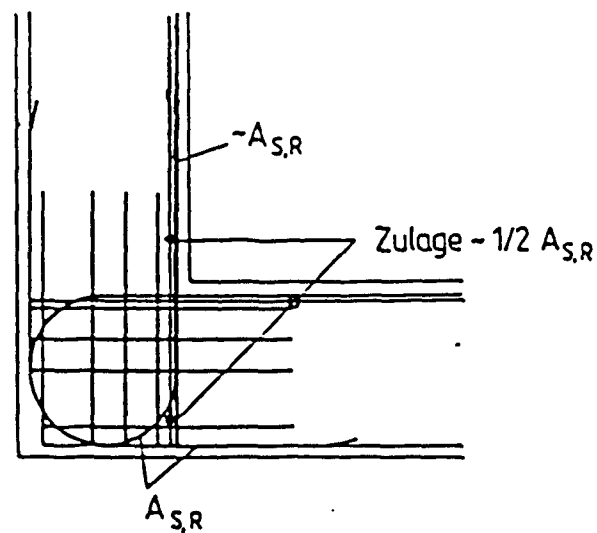
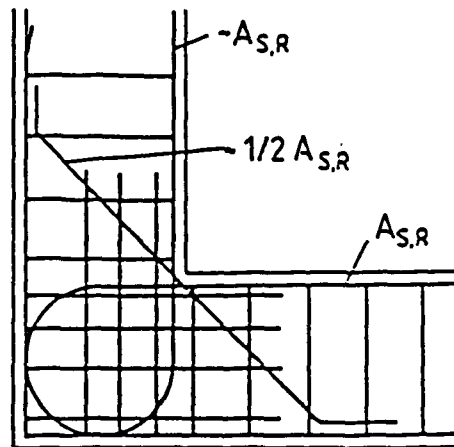


Bild 2.95: VR II, Riegel-Eckbewehrung beiderseits  $\rho_R = 1,21 \%$   
 Rißbreite  $w \approx 0,25 \text{ mm}$  mit Schrägbewehrung, ersatzweise  
 mit Zulagen

### 2.8.2.2 Rahmenecke mit negativem Moment (VR III)

Der Versuch VR III zeigt bei einer Riegelbewehrung im Eckbereich von  $\rho_R = A_{S,R}/b \cdot d = 1,21\%$  ( $3 \phi 20 = 9,42 \text{ cm}^2$ ) empfehlenswerte Bewehrungsführungen. Die Rißbreiten  $w$  unter Gebrauchslast betrugen nach Schwellbelastung etwa  $0,3 \text{ mm}$ . Die Anordnung von Steckbügeln in beiden Richtungen erwies sich als wesentlich zur Sicherung einer geringen Rißbreite. Die Zusatzbewehrung nach DIN 1045, Abschn. 21.1.2 ist bei Bauhöhen  $h > 70 \text{ cm}$  erforderlich, weil dann die Eckdiagonale etwa  $1,0 \text{ m}$  mißt. Bild 2.96 zeigt die hier geprüfte Bewehrungsführung.

Tritt in Sonderfällen - z.B. bei großen Horizontallasten - eine Vorzeichenumkehr des Eckmomentes auf, ist eine geeignete Bewehrungsführung zur Aufnahme positiver Eckmomente durch Kombination mit den Empfehlungen in Abschn. 2.8.2.1 (b) unschwer zu finden.

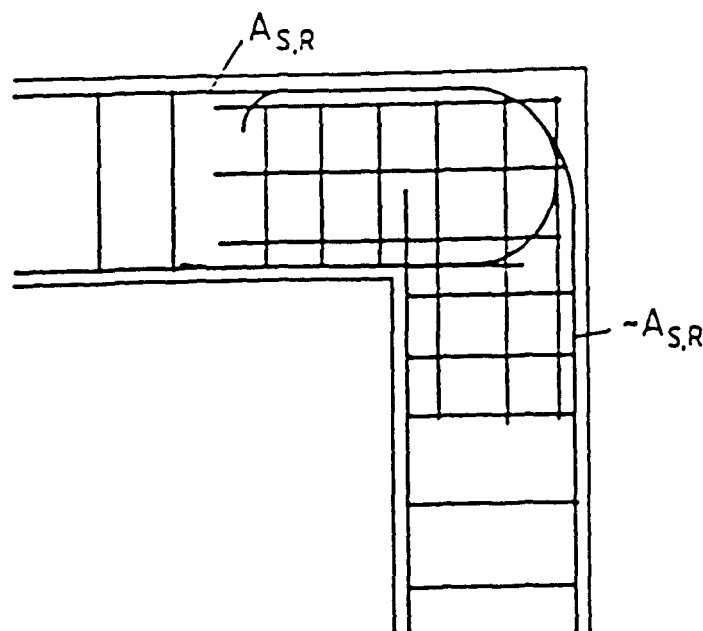


Bild 2.96: VR III, Riegel-Eckbewehrung, oben  $\rho_R = 1,21\%$ , unten  $\rho_R' = 0,8\%$

### 2.8.2.3 Rahmen-Endknoten (VR IV, V, VI)

Die folgenden Bilder zeigen empfehlenswerte Endknoten-Bewehrungsführungen für  $\rho_R = A_{S,R}/b \cdot d = 0,58 \%$  und  $1,47 \%$  bei negativem Riegel-Anschlußmoment.

Bei  $\rho_R \leq 0,58 \% = \omega_R = 0,09$  (Bild 2.97 - VR IV) verblieb die Rißbreite  $w$  unter Gebrauchslast nach Schwellbeanspruchung bei etwa  $0,25 \text{ mm}$  auch ohne Schrägbewehrung. Das günstigere Verhalten gegenüber einer Rahmenecke nach 2.8.2.1a) mit  $\rho_R = 0,4 \%$  ist auf die Riegeleinspannung durch zwei Stiele zurückzuführen, bei welcher nur ein Teil der Zugkraft der Riegelanschlußbewehrung in den oberen Stiel eingeleitet wird.

Auch bei einem Riegelbewehrungsprozentsatz  $\rho_R = A_{S,R}/b \cdot d = 1,47 \%$  ohne Schrägbewehrung (Bild 2.98 - VR V) zeigte sich kein signifikanter Einfluß auf die Rißweite  $w$ , sofern mit der waagerechten Verbügelung des Knotens nicht gespart und die zugbeanspruchte Bewehrung im Riegelanschluß zum oberen Stiel durch Zulagen verstärkt wird.

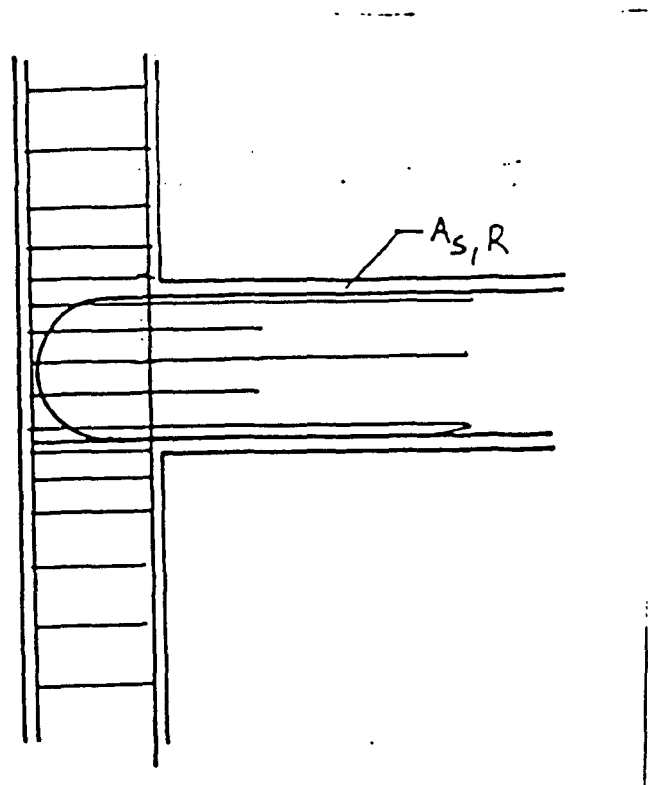


Bild 2.97: VR IV, Riegel-Anschlußbewehrung oben  $\rho_R = 0,58 \%$  ( $3 \phi 12 + \text{Zulage} = 3,39 \text{ cm}^2$ ,  $4 \phi 6 = 1,1 \text{ cm}^2$ ), unten  $\rho_R' = 0,44 \%$  ( $3 \phi 12$ , zurückgebogen) Rißbreite  $w \approx 0,25 \text{ mm}$

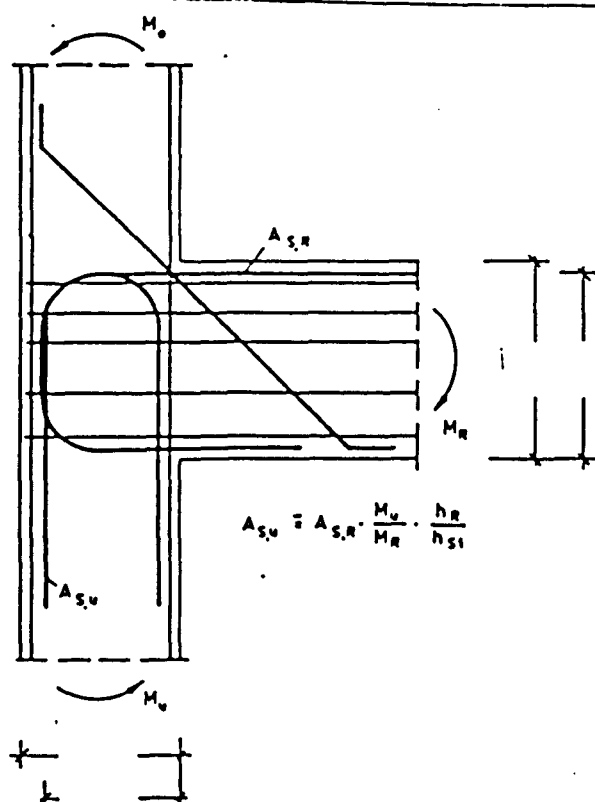
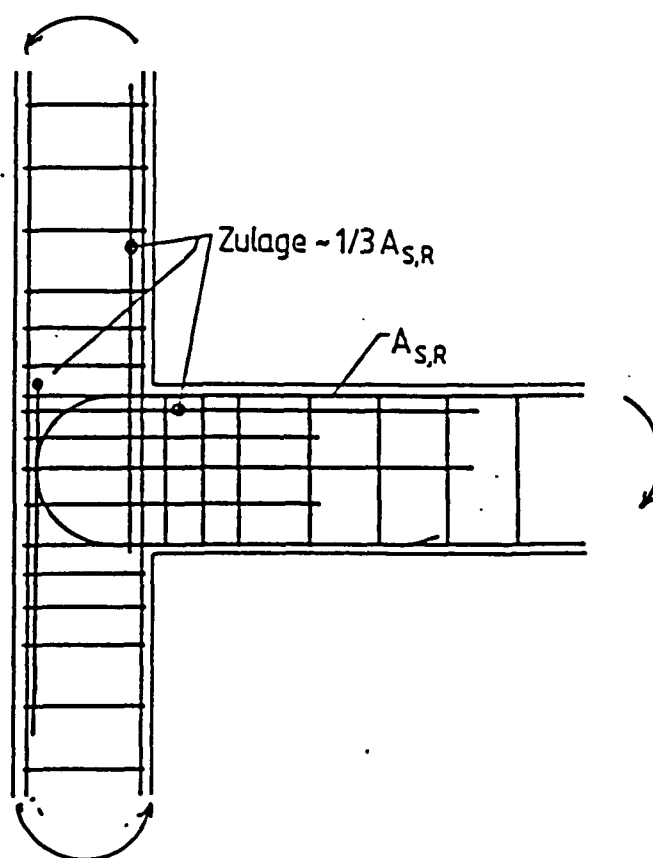


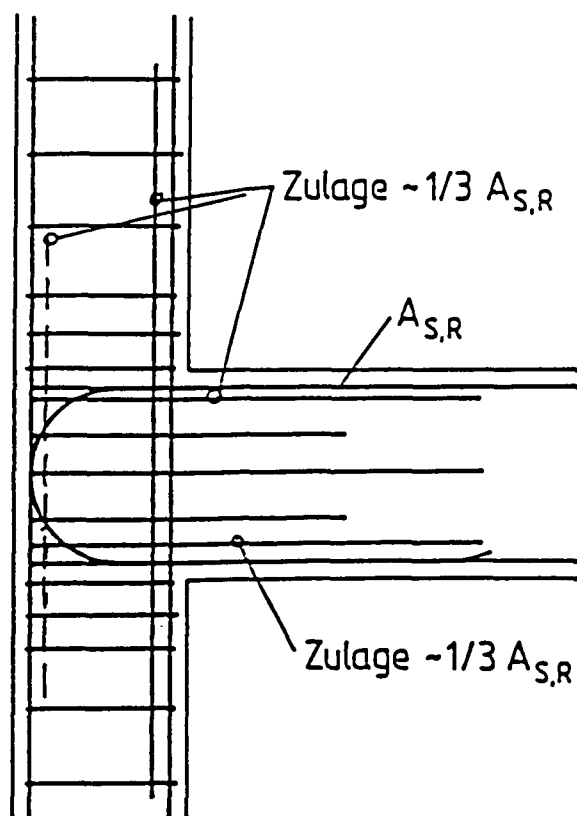
Bild 2.98: VR V, Riegel-Anschlußbewehrung oben  $\rho_R = 1,47 \%$  ( $3 \phi 20 = 9,42 \text{ cm}^2$  + Zulagen  $4 \phi 10 \geq 3,1 \text{ cm}^2$ ), unten  $\rho_R' = 9,42 \text{ cm}^2$  ( $3 \phi 20$ , zurückgebogen)  
 Zulage Stiel oben Zugseite  $\geq 3,1 \text{ cm}^2$ . Ribbreite  $w = 0,2 \text{ mm}$   
 Bei Bewehrungsführung mit Schrägstab schlaufenförmige Zulage  
 Knoten-Stiel unten [2, 13]



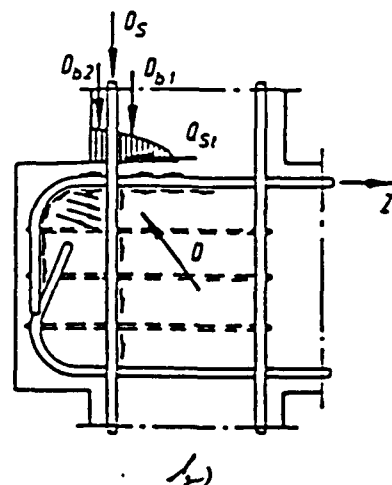
Die Beobachtungen am Rahmen-Endknoten VR V mit einem Riegelbewehrungsprozentsatz von mit  $\rho_R = 1,47 \% = \omega_R = 0,22$  zeigen, daß auch bei vergleichsweise hohen Werten  $\rho_R$  Bewehrungsführungen ohne Schrägstäbe möglich sind, die zu Rißbreiten im Gebrauchszustand von nicht mehr als  $w = 0,30 \text{ mm}$  führen. Allerdings müssen in diesen Fällen die zugseitigen Bewehrungen der oberen Stiele und die am Riegelanschluß oben liegende Bewehrung durch Zulagen verstärkt werden, die bis an die Stielaußenseiten heranreichen. Außerdem kommt begünstigend hinzu, daß der Kehlriss in der Ecke "Riegel-Stiel oben" durch die im oberen Stiel herrschende Druckkraft meist steiler verläuft und sich die zur Umleitung des Zugkraftanteiles aus der Riegel-Anschlußbewehrung erforderliche Zugresultierende flacher einstellt, wie dies bereits in Bild 1.16 angedeutet wurde. Die Schrägbewehrung kann unter diesen Voraussetzungen entfallen und durch Zulagen, abgestimmt auf den Kraftfluß im Knoten, ersetzt werden; eine Verstärkung der Riegel-Anschlußbewehrung durch Zulagen ist hierbei ebenso erforderlich.

Bewehrungsführungen mit ausreichendem Trag- und Verformungsverhalten ohne Schrägbewehrungen sind auch deswegen erstrebenswert, weil diese den Einbau der Biegebewehrung sowie das Einbringen und Verdichten des Betons erschweren, zumal eine Betongüte von  $\geq \text{C } 30/37$  angestrebt werden sollte.

Bei Rahmentragwerken, die vorzugsweise hohe Horizontalkräfte z.B. aus Windlasten aufzunehmen haben, wechseln jedoch die Riegel-Anschlußmomente unter Umständen ihr Vorzeichen. Der Einbau von Schrägstäben für beide Beanspruchungsrichtungen wäre sehr schwierig. Hier sind daher Lösungen zu bevorzugen, bei welchen als Ersatz Zulagen zur Biegebewehrung des Riegels und zur Stützenbewehrung angeordnet werden. Die Riegelbewehrung ist schlaufenartig so zu biegen, daß sich Zugstöße zur Biegebewehrung der anderen Querschnittsseite ergeben. Die Zulagen zur Riegelbewehrung haben nicht nur die fehlende Schrägbewehrung zu ersetzen, sondern vor allem die Aufnahme der Umlenkkräfte bis zur Stützen-Außenseite sicherzustellen. Die folgenden Bilder 2.99 zeigen Lösungsmöglichkeiten.



Skizze a



Skizze b

Bild 2.99: Riegelanschluß in Rahmenecken mit wechselndem Momentendreh Sinn

Bei Stützen mit geringer Bauhöhe ergeben sich gelegentlich Schwierigkeiten, die erforderlichen Verankerungslängen der Riegelbewehrung sicherzustellen. Sofern Gestaltungsanforderungen nicht entgegenstehen, sollte in solchen Fällen der Riegel über die Außenkante der Stütze hinaus verlängert werden, wie dies von Paulay [26] vorgeschlagen wurde (Bild 2.99 b).

In der Niederländischen Fachliteratur wird für einseitige Riegelanschlüsse an durchgehende Stützen ein Grenzbewehrungsprozentsatz angegeben - wie z.B. bei Stroband [27] nachzulesen:

$$\text{grenz } \rho_R (\%) = 25 \cdot f'_{ck}/f_y \cdot h_{St}/h_R$$

Dieser Ansatz führt z.B. bei VR V zu

$$\text{grenz } \rho_R (\%) = 25 \cdot 40/6500 \cdot 300/350 = 1,43 \%$$

Mit  $\rho_R = 1,47 \%$  wäre somit dieser Versuch praktisch entsprechend dem Grenzbewehrungsprozentsatz ausgeführt worden.

### 2.8.3 Bewehrungsführungen von Rahmenecken in Sonderfällen

#### a) Anschluß von Winkelstützwänden und Behälter-Boden-Verbindungen

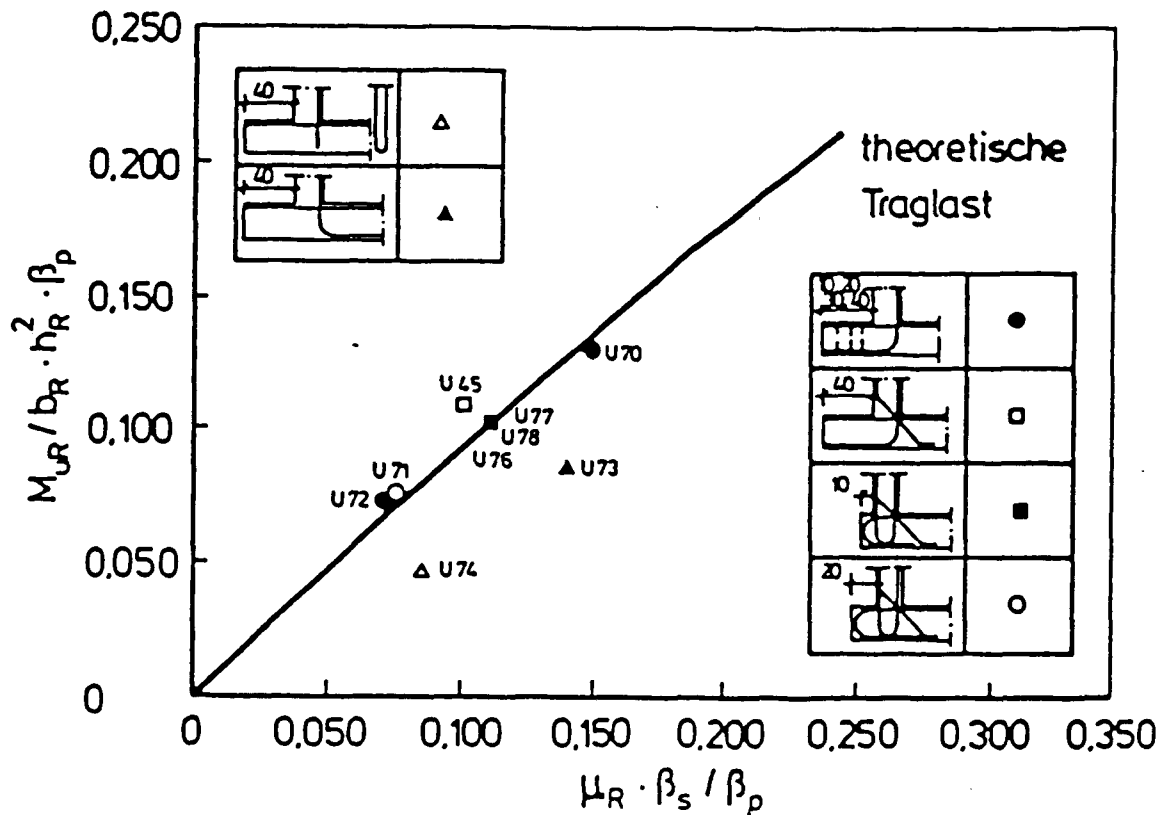


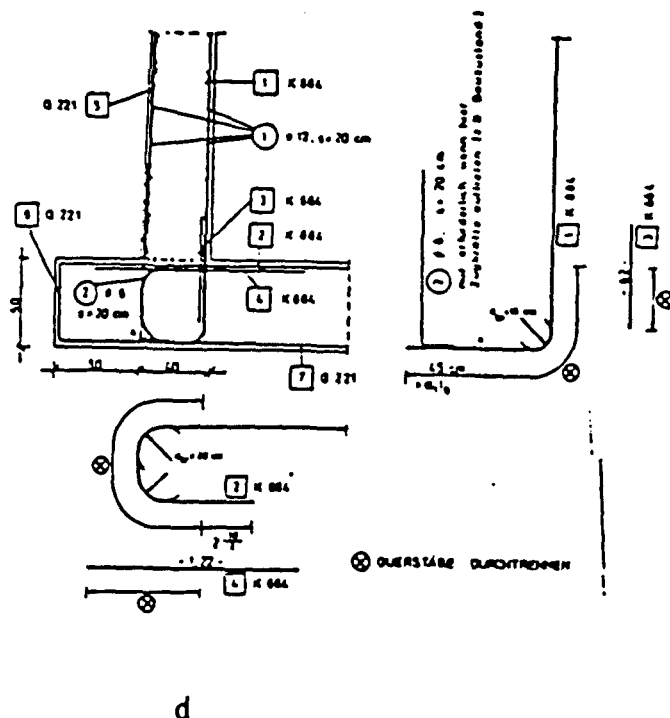
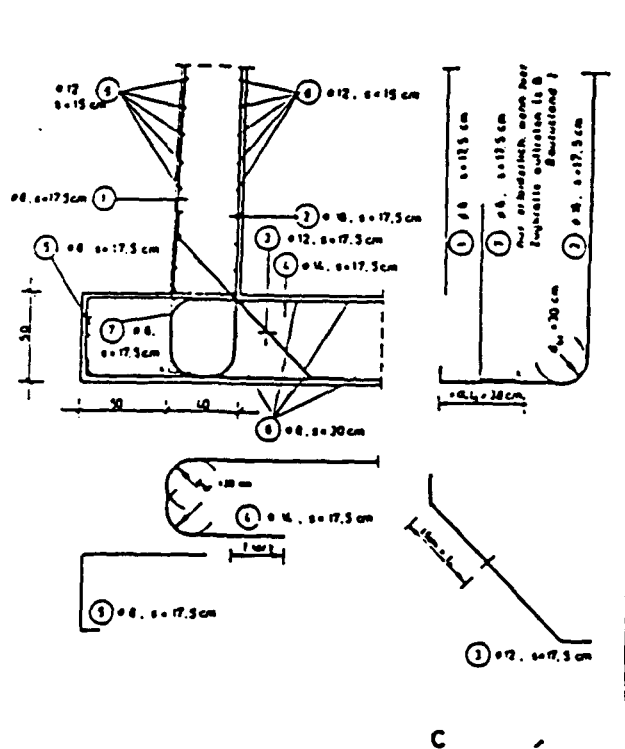
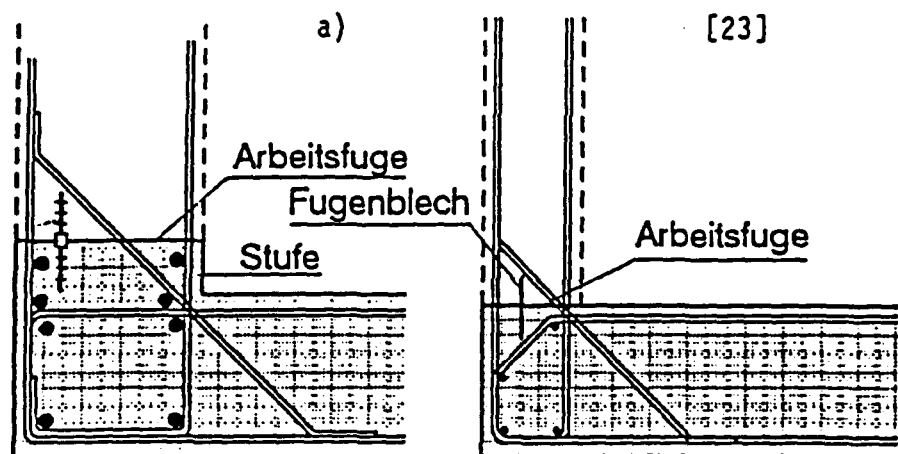
Bild 2.100: Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei Winkelstützwänden [5]

Biegebeanspruchte Anschlüsse zwischen Bodenplatte und Wand sind typisch im Behälterbau, wo allerdings besonders hohe Anforderungen an die Dichtigkeit gestellt werden; die Anordnung eines Fugenbandes oder -bleches wird oft gefordert, um die Anschlußfuge Boden-Wand zu sichern. Dabei ergeben sich Einbauschwierigkeiten, weswegen diese Fuge gelegentlich so hoch gelegt wird, daß Überschneidungen des Fugenbandes mit der Schrägbewehrung und der oberen Bodenplattenbewehrung vermieden werden (Bild 2.101a). Oftmals gelingt es jedoch nicht, den Beton der "Stufe" einwandfrei auszuführen, weswegen in [23] eine einfache Lösung empfohlen wird, die diese Schwierigkeiten umgeht (Bild 2.101b). Bei Behältern mit hohen Anforderungen an die Dichtigkeit sollten neben Fugenbändern in der Anschlußfuge Boden-Wand auch Schrägbewehrungen, ersatzweise Zulagen wie in Bild 2.101 d) angeordnet werden.

### Anschluß Sohle / Wand

**Weniger zu empfehlen wegen der meist mangelhaften Güte des Betons der "Stufe"**

**empfehlenswerte Lösung**



**Bild 2.101: Anschlüsse Sohle/Wand. Lösung a) und b) mit Fugenblech; c) Stabbewehrung und d) Baustahlmatten-Bewehrung, beide ohne Fugenblech**

Bei Biegegliedern in Flüssigkeitsbehältern mit hohen Anforderungen an die Dichtigkeit sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, daß die Druckzonenhöhe  $\geq 7$  cm verbleibt und Trennrisse möglichst gar nicht, notfalls auf eine Rißbreite von 0,1 - 0,3 mm, begrenzt werden. Die Breite von Kehlrisse ist i.d.R. größer als von Biegerissen, dafür ist die Rißtiefe geringer, weswegen bei der Beurteilung von Kehlrißbreiten keine strengen Maßstäbe anzuwenden sind.

## b) Stumpfwinklige Rahmenecken

Stumpfwinklige Rahmenecken kommen vor allem bei plattenartigen Bauteilen vor (Treppenläufe). Deshalb wurden von Nilsson [4] und Kordina [8] auch diese Eckverbindungen überprüft. Insgesamt liegen 20 Untersuchungen an stumpfwinkligen Rahmenecken vor. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen in Abhängigkeit von der Traglast sind in Bild 2.102 dargestellt. In Bild 2.23 ist die Spannungsverteilung einer stumpfwinkligen Rahmenecke unter positiver Momentenbeanspruchung im ungerissenen Zustand dargestellt. Hier ist die Spannungsspitze an der inneren Rahmenecke noch größer als bei den rechtwinkligen Ecken.

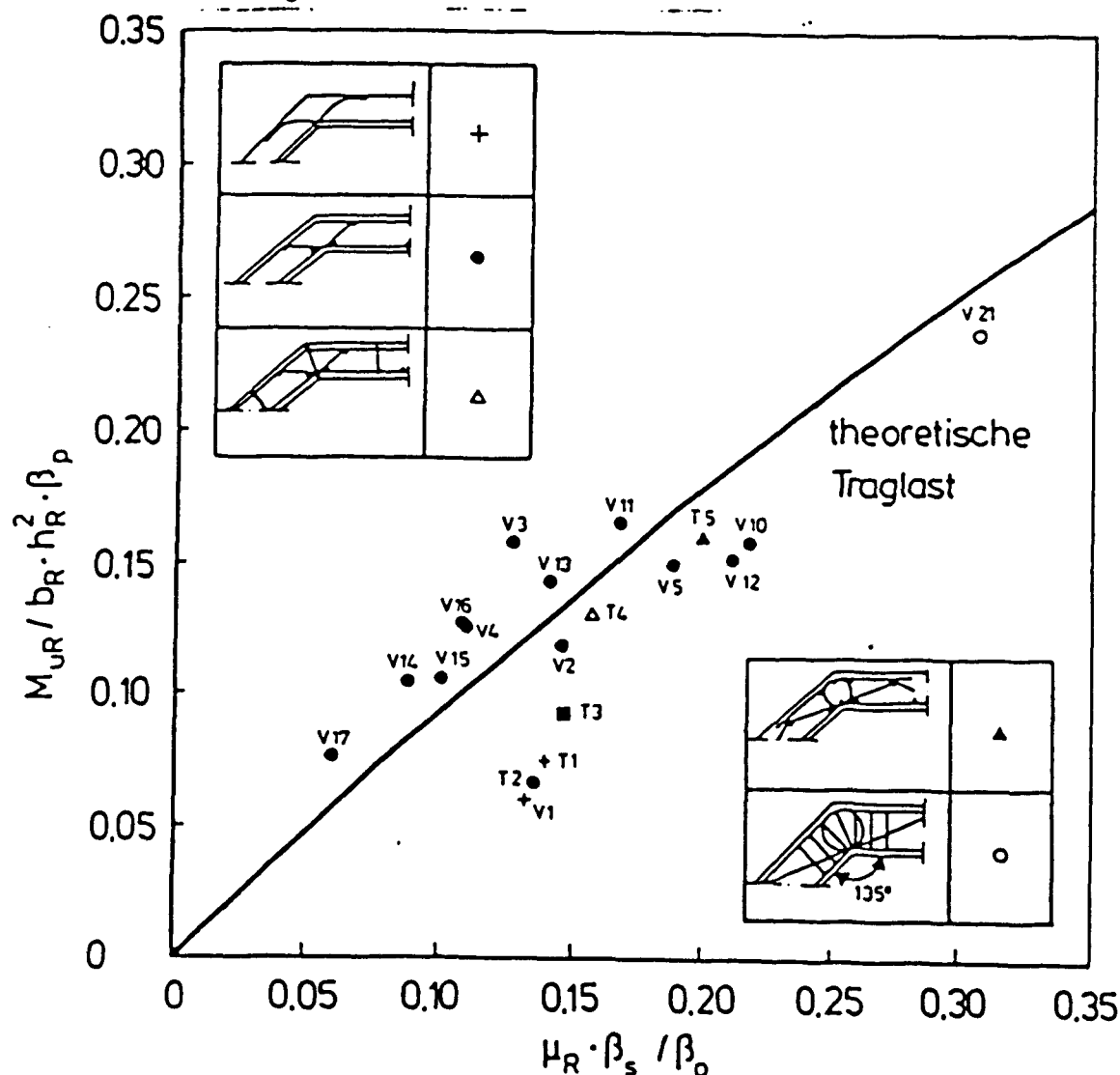


Bild 2.102: Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei stumpfwinkligen Rahmenecken [2, 5]

## c) Spitzwinklige Rahmenecken

Auf diesem Gebiet liegen bisher nur wenige Untersuchungen von Nilsson [4] an drei Versuchskörpern vor. Die Umlenkung der Biegezugkraft ist nach den bisherigen Untersuchungen nur durch Anordnung einer Schrägbewehrung möglich, die grundsätzlich in einer Voute untergebracht werden sollte. Die geprüften Versuchskörper sind nach diesen Gesichtspunkten hergestellt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind nachfolgend dargestellt. Daraus ergibt sich, daß die in den vorhergehenden Abschnitten als mangelhaft erkannten Bewehrungsführung - nämlich ein Abknicken der Zugbewehrung des einen Riegels in der Druckzone des anderen - auch hier ein schlechtes Tragverhalten zeigt. Wesentlich bessere Ergebnisse zeigen die Versuchskörper, bei denen eine schlaufenförmige Bewehrung angeordnet wurde.

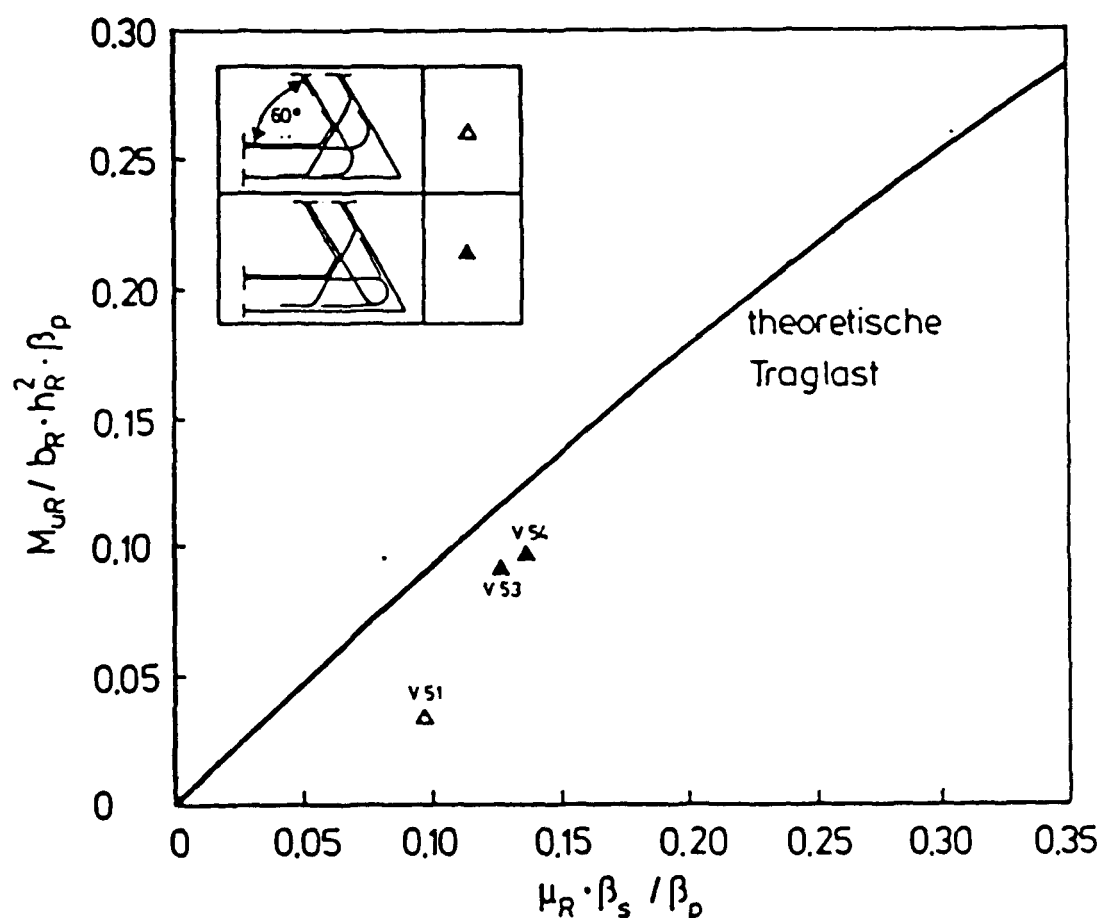
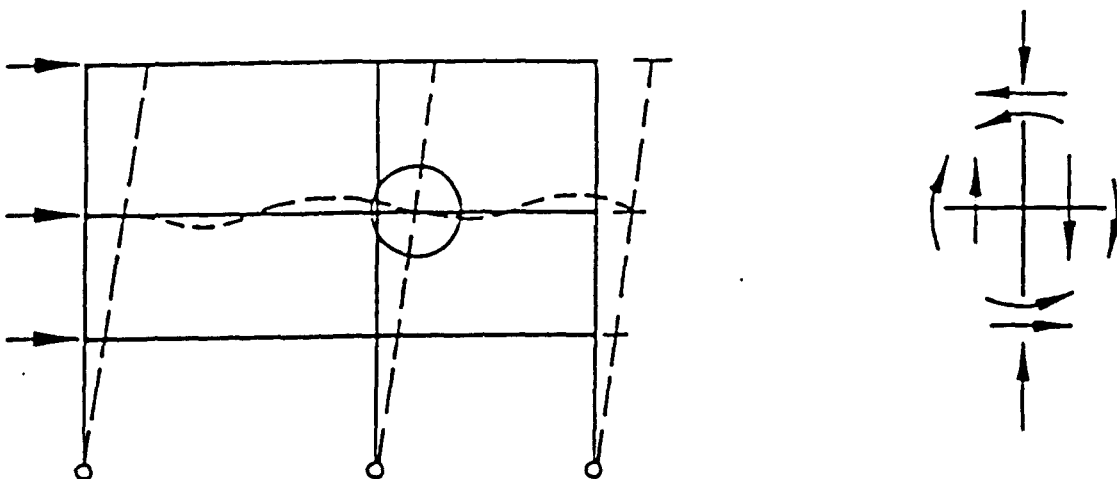


Bild 2.103: Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei spitzwinkligen Rahmenecken [5]

#### 2.8.4 Ebene Rahmeninnenknoten

Bei ebenen - oder auch räumlichen - Innenknoten von Rahmen in "üblichen Hochbauten" sind im allgemeinen keine besonderen Ausführungsformen der Bewehrungsführung zu beachten, solange es sich um unverschiebliche Tragwerke handelt und z.B. die in DIN 1045 Abschn. 2.2.4 angegebenen Grenzen eingehalten sind (überwiegend ruhende, gleichmäßig verteilte Verkehrslasten  $p \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$ , Einzellasten  $P \leq 7,5 \text{ kN}$ ). Die Riegelbiegemomente beiderseits des Knotens halten sich bei diesen Tragwerken in der Regel annähernd die Waage; eine Umlagerung der Riegelmomente um bis zu 15% ihrer Höchstwerte, ermittelt nach E-Theorie im Zustand I, darf vorgenommen werden (DIN 1045, Abschn. 15.1.2(3)). Die Bildung von kräftigen Biegerissen im eigentlichen Knotenbereich könnte allerdings die Tragfähigkeit auf Druck hoch ausgelasteter Stützen beeinträchtigen, weswegen die Stützenbreite nicht zu schmal und annähernd der Bauhöhe der Riegel entsprechend gewählt werden sollte.

In den End- und Innenknoten von Rahmen, die überwiegend der Aussteifung hoher Gebäude gegenüber Windkräften oder Erdbebenbeanspruchungen dienen, ergeben sich jedoch gänzlich andere maßgebende innere Schnittgrößen, deren Aufnahme insbesondere bei Innenknoten erhebliche Schwierigkeiten bereitet: Als Folge der Knotenverdrehungen zeigen die Riegel-Anschlußmomente den gleichen Drehsinn, hervorgerufen durch die Horizontalverschiebungen des Rahmensystems. Den Riegelmomenten müssen Stielmomente das Gleichgewicht halten - wie dies in der folgenden Skizze angedeutet ist. Da Horizontalbelastungen "nach beiden Seiten" auftreten können und sich hierdurch positive Momente an allen vier Ecken ergeben, müßten u.U. Schrägbewehrungen in allen Eckbereichen angeordnet werden - wie dies in Bild 1.21a bereits skizzenhaft angedeutet wurde. Eine Bewehrungsführung dieser Art wäre kaum praxisgerecht, weswegen nach geeigneteren Lösungen gesucht wurde.



Stroband und Leguijt [15] haben die gestellten Fragen systematisch behandelt. Dieser Bericht wurde von Stroband [27] überarbeitet und ausführlich kommentiert.

Es wird zunächst eine Darstellung der inneren Kräfte vor und nach Bildung eines Diagonalrisses gegeben (Bild 2.104a und b). Abmessungen, Bewehrung, Zusatzbewehrung sowie Rißbildung im Knotenbereich zeigt Bild 2.105 a - c. Einzelangaben zu den Versuchskörpern und den Versuchsergebnissen wurden in Tabelle Bild 2.106 zusammengestellt.

Die Stahlfließgrenze betrug im Mittel  $450 \text{ N/mm}^2$ , die Betongüte  $f'_{\text{cm}} = 33$  bzw.  $18 \text{ N/mm}^2$ .

Es werden folgende Beobachtungen hervorgehoben:

- Schon bei geringer Belastung bilden sich in den beiden zugbeanspruchten Ecken zwischen Stütze und Balken Anrisse (1), die sich bei weiterer Laststeigerung entlang der Stützenbewehrung fortsetzen (2); gleichzeitig entstehen die üblichen Biegerisse in den Riegeln und Stützen (2). Die Breite der Eckrisse vergrößert sich - bei gleich hoher Stahlspannung - mit ansteigendem Bewehrungsgehalt (Bild 205c).
- Bei weiterer Laststeigerung bildet sich im Knoten plötzlich ein Diagonalriß (3) in Richtung der Druckdiagonalen. Bemerkenswert ist das Auftreten dieses Risses fast bei allen Versuchskörpern noch innerhalb des Gebrauchslastbereichs; es handelt sich um ein Querkraft-Problem. Die ACI-ASCE-Richtlinien [16] enthalten Angaben zur Ermittlung einer Untergrenze für die Entstehung dieses Diagonalrisses. Die den Diagonalriß bewirkende Bruchquerkraft kann auch mit EC 2, Teil 1, Gl. (4.18) für  $V_{\text{RdI}}$  abgeschätzt werden, wenn  $\tau_{\text{Rd,U}} = 0,15 \cdot f_{\text{cm}}^{1/3}$  gesetzt wird [28].
- Mit der Bildung des Diagonalrisses tritt nicht das Versagen ein, weil sich im Knoten ein neues Kräftegleichgewicht einstellen kann. Allerdings nimmt bei weiterer Belastung die Rißentwicklung erheblich zu. Versagen des Knotens tritt in der Regel durch Betondruckbruch in der Druckdiagonalen in Verbindung mit Betonversagen in den Druckzonen der Balken und Stützen ein. Hierbei kann von Bedeutung sein, daß die Mitwirkung der



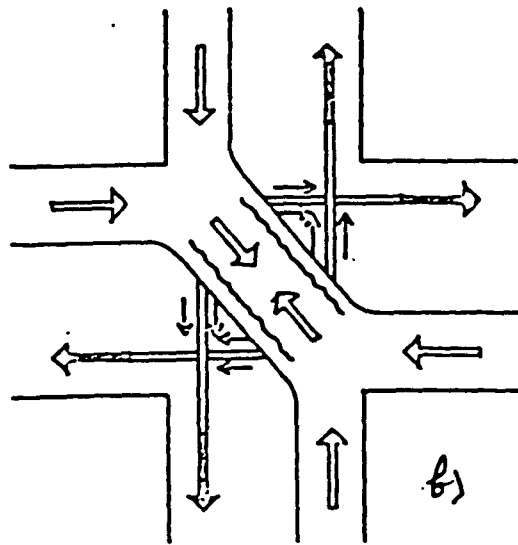
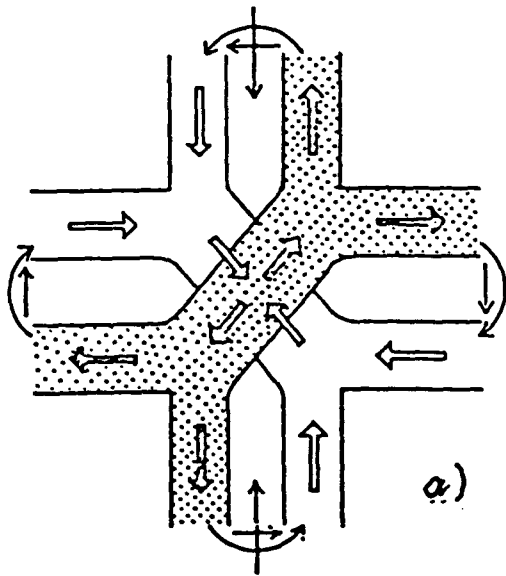


Bild 2.104: Innere Kräfte in einem Innenknoten [15]

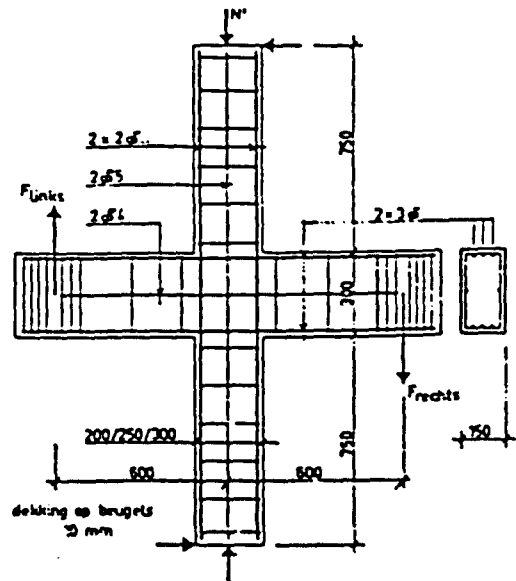


Bild 2.105a: Bewehrung der Versuchskörper [15]

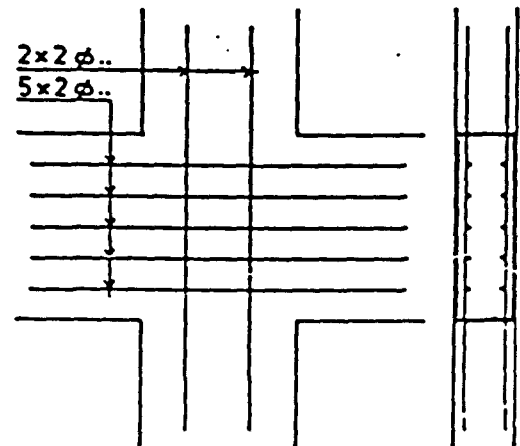


Bild 2.105b: Zusatzbewehrung [15]

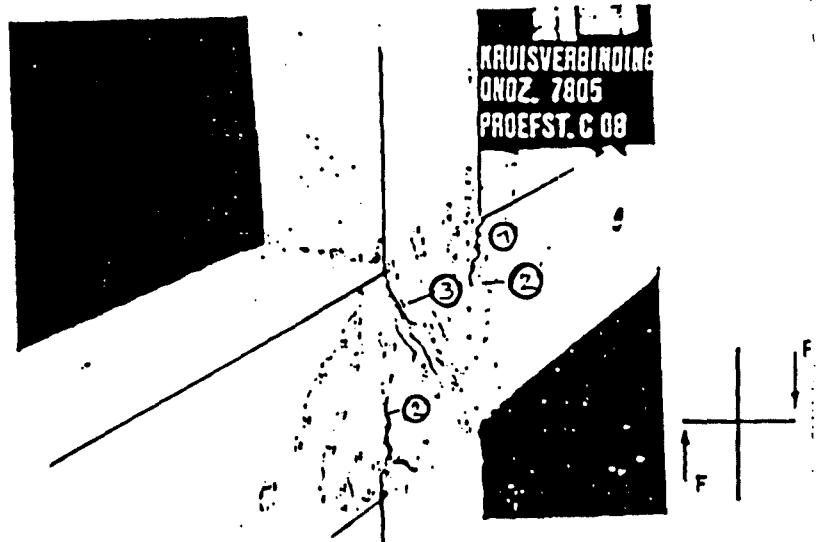
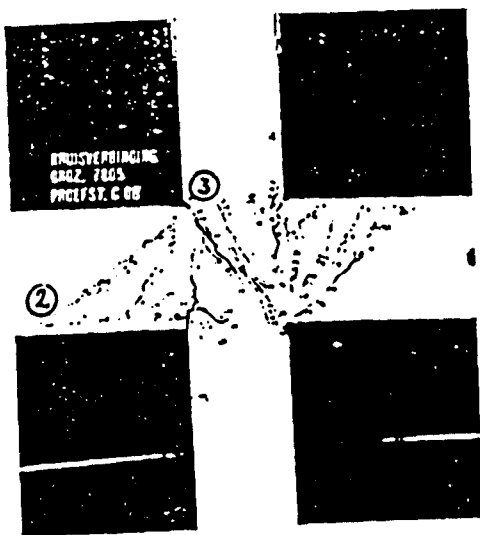


Bild 2.105c: Rißbildung [27]

Biegebewehrung der Riegel im Druckbereich wegen Überschreitung der Verbundfestigkeit nicht voll zur Geltung kommt.

- Die Wirksamkeit der Verbindung wurde durch das Verhältnis  $\eta$  des Versuchs-Bruchmomentes  $M_T$  zum rechnerischen Riegelbruchmoment  $M_{U,th}$  ausgedrückt, wobei allerdings  $M_{U,th}$  mit herabgesetzten Baustoff-Festigkeiten  $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$  und  $f'_c = 0,8 \cdot 33$  bzw.  $0,8 \cdot 18 \text{ N/mm}^2$  berechnet wurde. In Tabelle Bild 2.106 wurden ergänzend in den Spalten 18 und 19 die Versuchsmomenten-Summen bzw. die rechnerischen Bruchmomentensummen für die tatsächlich vorhandenen Festigkeiten und in Spalte 20 die zugehörigen Werte  $\bar{\eta}$  ermittelt. Bei den Versuchen C 01 und C 10 wurde das Versuchsbruchmoment  $M_{U,T}$  mit  $(F_{li} + F_r)/2$  bestimmt und dem 1,5fachen des rechnerischen Bruchmomentes einer Seite gegenübergestellt.
- Der Einfluß einer zu geringen Stützenbreite wird in Bild 2.107 deutlich; die Ursache der mit  $h_R/h_{St}$  abfallenden Werte  $\bar{\eta}$  ist in der bei geringer Stützenbreite eintretenden Überlastung der Stützen-Druckzone zu vermuten. Es wurden nur die Versuche C 01 bis C 12 erfaßt.
- Bild 2.108 zeigt den Wirkungsgrad  $\bar{\eta}$  in Abhängigkeit vom mechanischen Bewehrungsgehalt  $\omega_R = \rho_R \cdot f_y/f'_c$  des Riegels, wobei nur die Versuche C 01 bis C 10 aufgetragen wurden. Bild 2.109 gibt den Zusammenhang zwischen  $M_{U,T}$  (nur für eine Knotenseite) und  $\omega_R$  wieder. In [27] wird der Ansatz für den Grenzbewehrungsprozentsatz bei Innenknoten mit der Hälfte der für Endknoten angegebenen Beziehung zu

$$\text{grenz } \rho_R = 12,5 \cdot f'_c/f_y \cdot h_R/h_{St}$$

angegeben. Die Funktion

$$\xi = 12,5 \cdot f'_c/(h_R/h_{St} \cdot \text{grenz } \bar{\eta}_R \cdot f_y)$$

müßte die Werte  $\bar{\eta}$  befriedigen. Dies ist jedoch - wie Bild 2.108 zeigt - für höhere Werte  $\omega_R$  nicht der Fall. Aufgetragen wurde  $\xi$  für  $h_R/h_{St} = 1,2$ .

Die Ursache dieser Erscheinung könnte darin liegen, daß die Bruchmomente in den vorliegenden Versuchen nur unter einsinniger Momentenbelastung bestimmt wurden und der Einfluß eines wiederholten Vorzeichenwechsels des Drehsinnes nicht geprüft wurde. Es ist zu vermuten, daß eine Versuchs-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Bez.	A <sub>S,R</sub>	P <sub>R</sub>	A <sub>S,St</sub>	h <sub>R</sub> /h <sub>St</sub>	F <sub>11</sub> /F <sub>re</sub>	Zusatz- bewehrung	f' <sub>cm</sub>	f <sub>ctm</sub>	E <sub>c</sub>	F <sub>U,R</sub>	F <sub>11</sub>	F <sub>re</sub>	N <sub>V,U</sub>	η	N <sub>V,r</sub>	F <sub>r</sub>	M <sub>U,T</sub>	M <sub>U,R</sub>	$\overline{\eta}$	ω <sub>R</sub>
	‰						N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	· 10 <sup>3</sup>	kN	kN	kN	kN	‰	kN	kN	kNm	kNm	-	-
C 01	3φ14	1,11	4φ18	1,5	1/2		33,88	2,45	31,0	80,3	84,5	42,2	269	105,2	89	29	76	76,5	0,99	0,15
C 02	3φ14	1,11	4φ12	1,0	1		33,88	2,45	31,0	80,3 <sup>*)</sup>	104,6	104,8	326	130,4	308	44	125	102	1,22	0,15
C 03	3φ10	0,59	4φ12	1,5	1		32,74	2,35	33	42,3 <sup>*)</sup>	53,3	52,8	321	126,0	277	22	64	52	1,23	0,08
C 04	3φ16	1,45	4φ14	1,0	1		32,74	2,35	33	103	112,6	114,7	313	110,3	187	35	136	133	1,02	0,20
C 05	3φ14	1,11	4φ14	1,2	1	φ 8	34,8	2,38	35,6	80,3	97,7	97,8	326	121,2	215	34	117	102	1,15	0,15
C 06	3φ14	1,11	4φ14	1,2	1		34,8	2,38	35,6	80,3 <sup>*)</sup>	84,0	86,6	332	106,2	179	29	103	102	1,01	0,15
C 07	3φ10	0,59	4φ 8	1,2	1	φ 5	33,8	2,46	35	42,3 <sup>*)</sup>	78,7	77,8	328	184,9	309	32	94	52	1,81	0,08
C 08	3φ10	0,59	4φ 8	1,2	1		33,18	2,46	35	42,3 <sup>*)</sup>	63,9	63,8	322	151,1	309	35	76	52	1,46	0,08
C 09	3φ14	1,11	4φ18	1,5	1		34,04	2,07	33,7	80,3	70,8	70,3	317	87,8	136	22	85	102	0,83	0,15
C 10	3φ14	1,11	4φ14	1,2	1/2		34,04	2,07	33,7	80,3	52,0	104,8	364	130,5	259	39	94	76,5	1,23	0,15
C 11	3φ16	1,45	4φ18	1,2	1		30,03	1,91	30,1	103	86,5	87,8	317	84,7	129	25	105	133	0,79	0,22
C 12	3φ16	1,45	4φ18	1,2	1		30,3	1,91	30,1	103	90,4	89,8	316	87,5	102	20	109	133	0,89	0,22
C 13	3φ14	1,11	4φ18	1,5	1		17,42	1,38	18,3	79	52,4	50,6	304	65,2	121	17	61	102	0,60	0,28
C 14	3φ14	1,11	4φ14	1,2	1		17,42	1,38	18,3	79	56,4	54,9	303	70,5	120	17	66	102	0,65	0,28
C 15	3φ14	1,11	4φ18	1,5	1	φ 10	18,95	1,31	-	79	50,1	48,1	300	62,2	121	18	59	102	0,58	0,28
C 16	3φ14	1,11	4φ14	1,2	1	φ 8	18,95	1,31	-	79	60,2	60,0	303	76,1	137	20	72	102	0,70	0,28

η =  $\frac{M_{U,T}}{M_{U,R}}$  = Wirksamkeitsgrad (Spalte 12/11), M<sub>U,R</sub> mit f'<sub>cm</sub> = 0,8 · 33 = 26,4 bzw. 0,8 · 18 = 14,8 und f<sub>y</sub> = 400 N/mm<sup>2</sup>

$\overline{\eta}$  =  $\frac{M_{U,T}}{M_{U,R}}$  = Wirksamkeitsgrad (Spalte 18/19), M<sub>U,R</sub> mit f'<sub>c</sub> 33 (30) bzw. 18 und f<sub>y</sub> = 450 N/mm<sup>2</sup>; M<sub>U,T</sub> und M<sub>U,R</sub> sind Momentensummen

N<sub>V,U</sub> = Stützenlast im Versagenszustand

N<sub>V,N</sub> = Stützenlast bei Auftreten des Diagonalrisses

F<sub>r</sub> = Riegelbelastung bei Auftreten des Diagonalrisses

\*) Fließen der Riegelbewehrung beobachtet

C 01 und C 10: Bruchmomente M<sub>U,R</sub> = 0,6 · (F<sub>el</sub> + F<sub>re</sub>), geteilt durch 1,5 M<sub>U,R,11</sub>

Tabelle Bild 2.106: Versuchswerte und Wirksamkeitsgrade nach [15, 27]

durchführung der letztgenannten Art zu niedrigeren Bruchmomenten geführt hätte.

Die Werte  $\eta$  der Versuche C 01 und C 10 mit  $F_{1i} = 1/2 F_{re}$  sind dadurch begünstigt, daß auf der geringer beanspruchten Seite zwar nur das halbe rechnerische Bruchmoment angesetzt wurde, tatsächlich aber beiderseits die gleiche Riegelbewehrung vorhanden war.

- Die Rißbreite an den Ecken mit positivem Moment steigt mit dem Bewehrungsgehalt im Riegel  $\rho_R$  an und überschreitet bei  $\rho_R = 1,45$  den Wert  $w = 0,4$  mm. Die Stahlspannung entsprach mit  $400/1,7 = 235$  N/mm<sup>2</sup> annähernd dem Gebrauchszustand [27] (Bild 2.110). Die deutliche Abhängigkeit der Rißbreite  $w$  vom Riegelbewehrungsgrad ist auffallend, möglicherweise durch die erhebliche Bewehrungskonzentration im Knoten (z.B. bds. 2  $\phi$  8 vertikal, bds. 3  $\phi$  16 horizontal) bei einem Riegelquerschnitt von  $30 \cdot 15$  cm bedingt.
- Die Biegesteifigkeit im Knotenbereich wird in den vorliegenden Versuchen als deutlich größer angegeben als die der anschließenden Bauteile, scheint aber bei Annäherung an den Bruchzustand unter die Biegesteifigkeit von Riegel und Stütze abzusinken. Dies bedeutet, daß in diesem Falle die Knotenbereiche keinesfalls als stabilisierende Elemente angesehen werden können.

Zur Bewehrungsführung in Rahmen-Innenknoten geben die Untersuchungen in erdbebengefährdeten Gegenden wichtige Hinweise. Paulay [26] zeigt übliche Verbügelungen im Knotenbereich, aber auch eine unorthodoxe Lösung, die hier als Bild 2.111b wiedergegeben wird. Es wird als wichtig bezeichnet, die

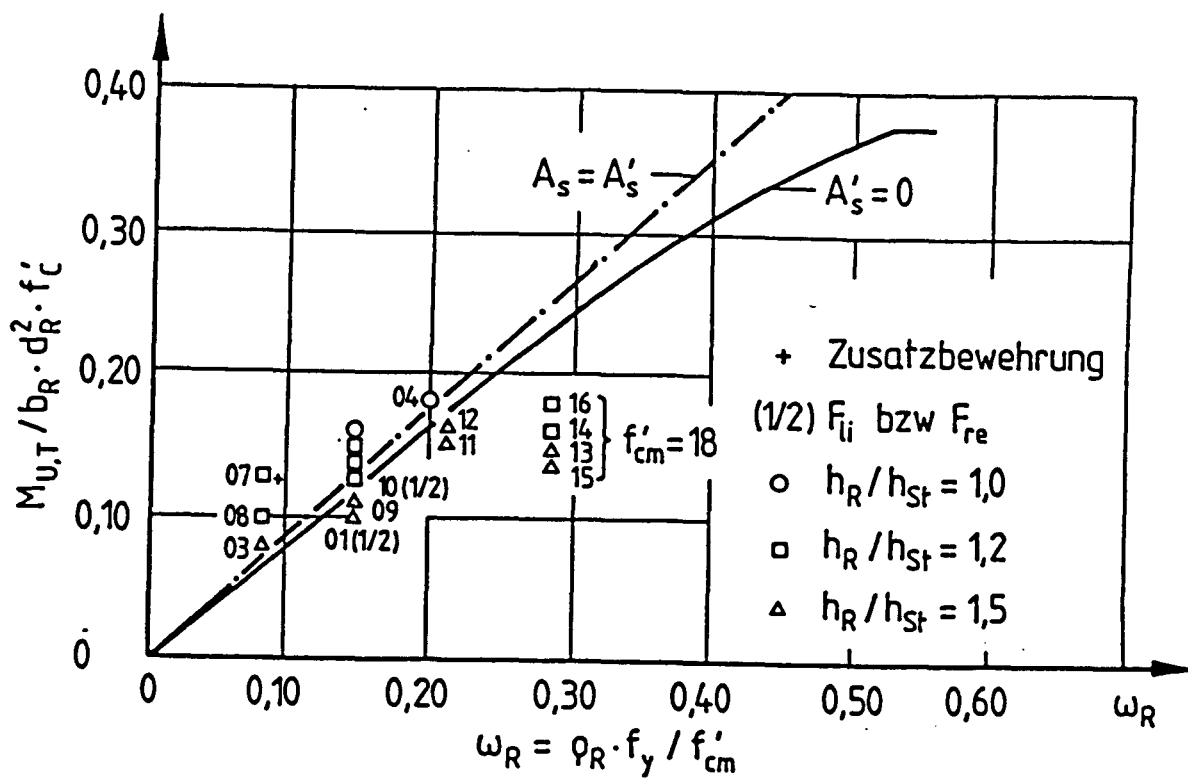


Bild 2.109: Bezogenes Bruchmoment  $M_{U,T}$  in Abhängigkeit vom mechanischen Bewehrungsgrad

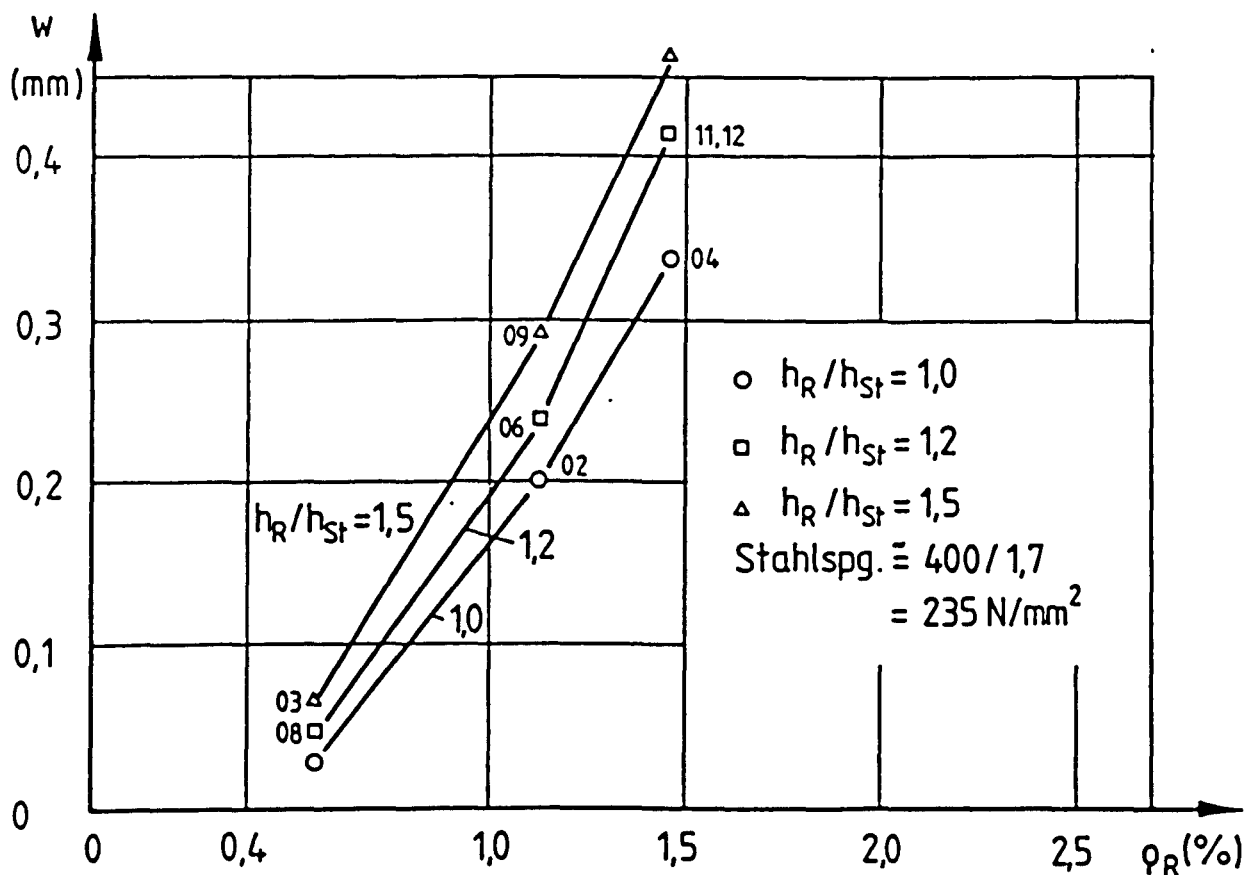


Bild 2.110: Rißbreiten unter Gebrauchslast in Abhängigkeit vom Riegelbewehrungsgrad [27]

Breite der Stütze größer als die Balkenhöhe zu wählen, damit die Abbiegungen der Riegelbewehrung im umschnürten Querschnitt der Stütze liegen.

Leon [29] zeigt eine übliche Lösung, die darauf abgestellt ist, auch wechselnde Belastungsrichtungen aufzunehmen (Bilder 2.112) und die typische Rißbildung im Knoten nach ermüdender Belastung.

In den vorliegenden Versuchen haben die Zusatzbewehrungen (Bild 2.107 und 2.108) deutliche Steigerungen der Traglast in den Versuchen C 05 und C 07 bewirkt; diese Zusatzbewehrungen waren im Riegel und in den Stützen angeordnet und haben sich im Knotenbereich gekreuzt. Allerdings wurden vermutlich die Riegelbruchmomente, insbesondere des Versuchs C 07, durch die im Riegel angeordnete Zusatzbewehrung erhöht. Beim Entwurf einer Bewehrungsführung in Rahmen-Innenknoten sollte an Zulagen gedacht werden, um Schrägbewehrungen - wie in Bild 1.21a angedeutet - zu vermeiden. Diese Zulagen müßten der Riegelbewehrung und der randnahen Stützenbewehrung unmittelbar zugeordnet werden, um Entstehung und Aufklaffen des Diagonalrisses (Bild 2.105 c) zu verzögern bzw. möglichst zu verhindern. Ihr Querschnitt sollte jeweils mit etwa  $1/3 A_{s,Riegel}$  gewählt werden und bei wechselnder Belastungsrichtung die obere und untere Riegelbewehrung sowie die Stützenbewehrung ober- und unterhalb des Knotens verstärken. Darüber hinaus scheint eine waagerechte Zusatzbewehrung, über die Riegelhöhe verteilt, bei Riegelbauhöhen von mehr als 70 cm zur Begrenzung der Diagonalrisse nützlich zu sein.

Die Stützenbewehrung sollte im Knotenbereich dicht verbügelt werden (Bilder 2.111a und 2.112b), die Stützenbewehrung ersetzt im Knoten die Bügelbewehrung des Riegels. Unmittelbar außerhalb des Knotens sollte in Riegel und Stütze zunächst eine verdichtete Bügelbewehrung angeordnet werden, ehe zur normalen Bügelbewehrung übergegangen wird.

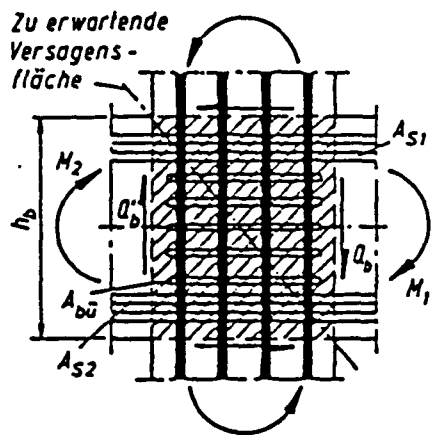


Bild 2.111 a: Bewehrungsvorschläge [26]

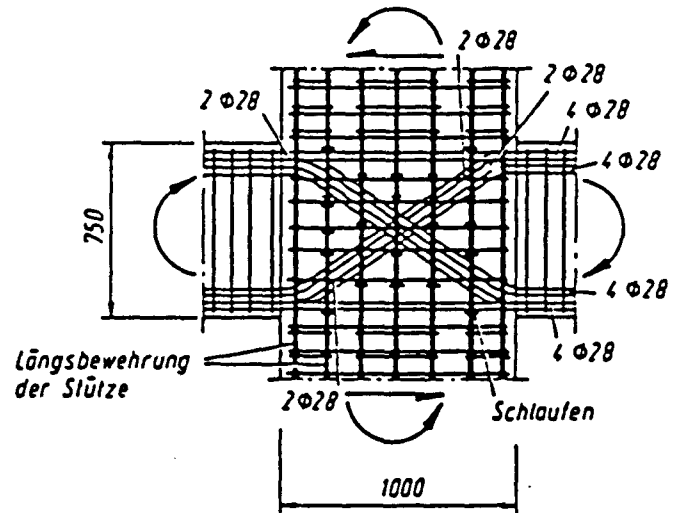


Bild 2.111 b

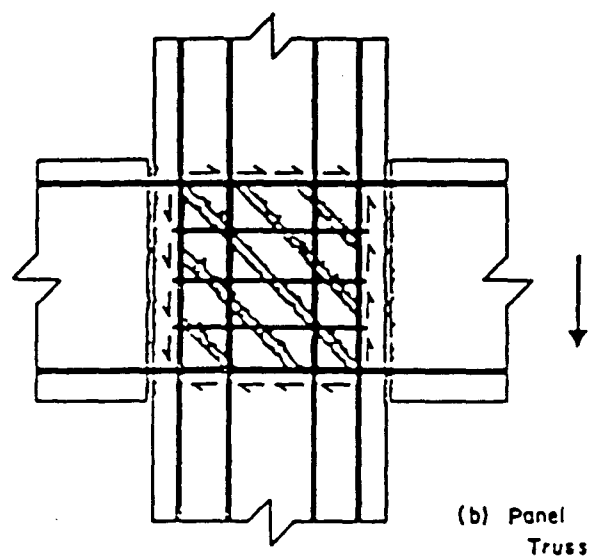
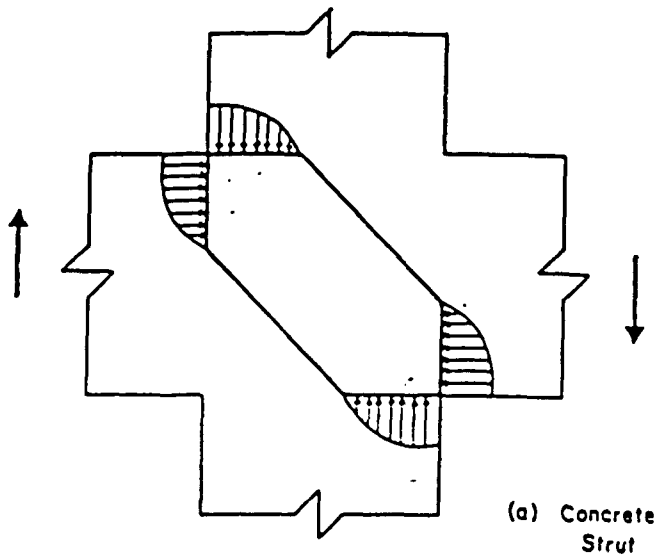


Bild 2.112 Betondruckdiagonale, Bewehrungssystem und Rißbildung[29]



Bild 2.112c Rißbild [29]

### 2.8.5 Anwendbarkeit des Traglastverfahrens

Maßgebend für die Anwendbarkeit des Traglastverfahrens ist das Bauteilverhalten im Bereich großer Rotationen; dies ist von Bedeutung z.B. für die Anwendung der Bruchlinientheorie zur Ermittlung der Traglast von Platten oder die Momentenumlagerung über den Zwischenstützen von durchlaufenden, biegebeanspruchten Balken oder Platten. Große Rotationen setzen einen Bewehrungsstahl angemessener Duktilität und eine hinreichend tragfähige Betondruckzone voraus. Ziel der vorliegenden Versuche ist u.a. zu prüfen, ob in Rahmenknoten diese Voraussetzungen erfüllt werden.

Nach EC 2, Teil 1, wird der Bewehrungsstahl hinsichtlich seiner Duktilität in Abhängigkeit von Gleichmaßdehnung, Fließgrenze und Zugfestigkeit in zwei Gruppen eingeteilt:

Klasse H  
(hohe Duktilität)  $f_{tk}/f_{yk} \geq 1,08$  und  $\epsilon_{uk} \geq 4 \%$

Klasse N  
(normale Duktilität)  $f_{tk}/f_{yk} \geq 1,05$  und  $\epsilon_{uk} \geq 2,5 \%$

Darüber hinaus soll noch ein Sonderstahl mit einer über die Klasse H hinausgehenden Duktilität für Bauwerke in Erdbebengebieten eingeführt werden.

Als Kriterium für die Anwendbarkeit des Traglastverfahrens wird die sog. plastische Rotation  $\theta_{p1}$  angesehen; die erlaubten bzw. theoretisch erreichbaren Werte sind auf Bild 2.113 zu finden. Naturgemäß sind für eine Anwendung z.B. der Bruchlinientheorie hohe Werte  $\theta_{p1}$  erwünscht. EC 2, Teil 1, setzt jedoch Grenzen, u.a. um eine übergroße Materialausnutzung zu verhindern.

In Bild 2.113 sind die Zusammenhänge zwischen Duktilität und  $\theta_{p1}$  für Beton C 35/45 und gerippten Betonstahl mit einer Streckgrenze  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ , bezogen auf einen Durchlaufträger mit  $h/d = 20$  und mäßige Verbundbedingungen dargestellt (Auszug aus [20]). Hieraus wird erkennbar, daß für eine Anwendung des Traglastverfahrens vorzugsweise Stahl der Klasse H zu wählen wäre.



#### 2.4.4 Mögliche plastische Rotation

Als plastische Rotation wird entsprechend Bild 2.8 die Differenz zwischen der Gesamtrotation bei maximaler Traglast und der sog. elastischen Rotation  $\theta_{el}$  bei Erreichen des plastischen Moments  $M_{pl}$  in Feldmitte bezeichnet.

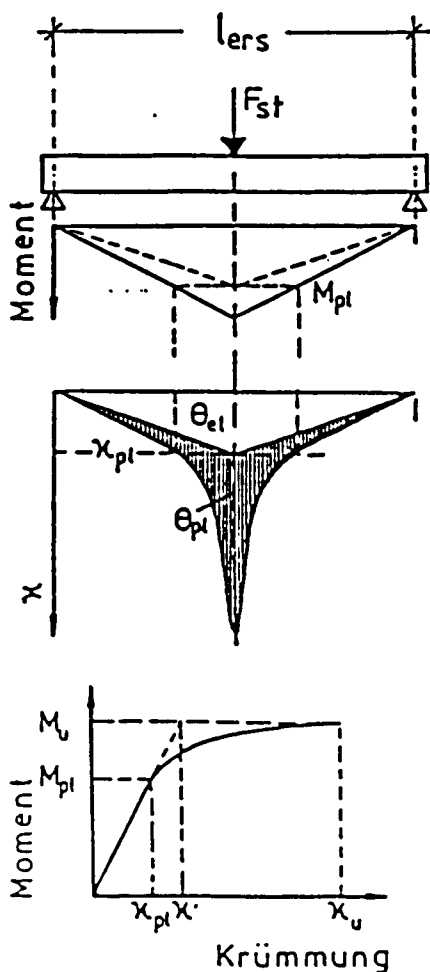


Bild 2.8: Definition der plastischen Rotation nach [8]

In Bild 2.9 ist die mögliche plastische Rotation bei Verwendung der o. g. Klassen unter Berücksichtigung des wirklichen Materialverhaltens des Stahls, des Betons und des Verbunds zwischen Stahl und Beton in Abhängigkeit von der bezogenen Druckzonenhöhe aufgetragen (gestrichelte Kurven) [10]. Dabei wurden folgende Rechenannahmen getroffen:

Es wurden Beton C 35/45 und gerippter Betonstahl mit einer Streckgrenze  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$  angesetzt und für die Verhältniszahlen  $f_{yk}/f_{yk}$  sowie für die Dehnung unter Höchstlast  $\epsilon_{uk}$  die o. g. Mindestanforderungen an die beiden Stahlklassen zugrunde gelegt. Die damit generierten Stahlkennlinien sind ebenfalls Bild 2.9 zu entnehmen. Die Schlankheit des Ersatzträgers betrug  $l_{eff}/d = 6$  (siehe Bilder 2.6 und 2.8), was einer Schlankheit eines Durchlaufträgers unter Gleichlast von  $l/d = 20$  bei einer Momentenumlagerung von etwa 20% entspricht. Es wurden mäßige Verbundbedingungen vorausgesetzt.

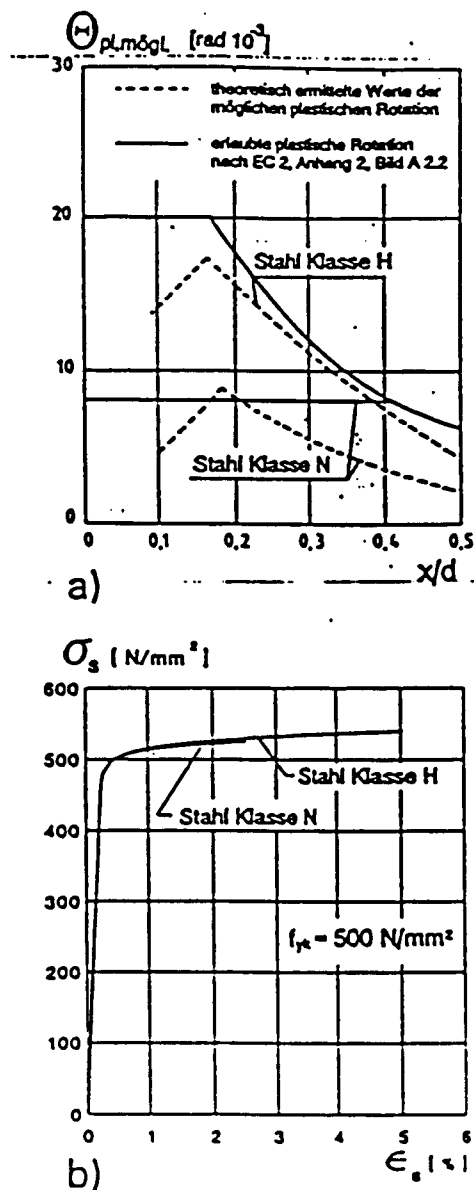


Bild 2.9: a) Theoretische Werte der möglichen plastischen Rotation bei Verwendung der beiden Duktilitätsklassen H bzw. N, nach [10] und zulässige plastische Rotation nach EC 2, Anhang 2, Bild A 2.2  
b)  $\sigma$ - $\epsilon$ -Linie der Betonstähle

Zum Vergleich sind in Bild 2.9 die zulässigen plastischen Rotationen nach EC 2, Anhang 2, Bild A 2.2, eingetragen (gestrichelte Linien). Die Kurve für hochduktilen Stahl (Klasse H) stimmt gut mit den theoretischen Werten überein. Allerdings wurde für kleine Werte  $x/d$  eine konstante plastische Rotation angegeben. Dieses stimmt mit den Regeln für den zulässigen Grad der Momentenumlagerung überein, wonach für kleine Werte  $x/d$  der Momentendeckungsgrad  $\delta$  konstant ist. Die in EC 2 angegebene Kurve für die zulässige plastische Rotation von normalduktilen Stahl (Klasse N) weicht stärker von dem theoretischen Verlauf ab. Sie wurde in Anlehnung an den zulässigen Grad der Momentenumlagerung gewählt. Darin wird jedoch kein Sicherheitsrisiko gesehen, weil in Platten, in denen diese Stahlart bevorzugt eingebaut wird, hohe Bewehrungsgrade selten sind. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß in den Rechnungen für alle Stäbe das gleiche Spannungs-Dehnungsverhalten vorausgesetzt wurde. In Wirklichkeit weisen die im Querschnitt vorhandenen Stäbe jedoch unterschiedliche Spannungs-Dehnungslinien auf, wodurch die Rotationsfähigkeit ansteigt.

Die Unterschiede in der möglichen plastischen Rotation zwischen den beiden Betonstahlklassen an sich und deren Abhängigkeit von der bezogenen Druckzonenhöhe sind umstritten, weil Bauteilversuche vor allem die Unterscheidung zwischen den beiden Betonstahlklassen nicht oder nur unzureichend zu rechtfertigen scheinen [24, 25]. Neueste Untersuchungen [12, 23] machen außerdem darauf aufmerksam, daß die Rotationsfähigkeit von weit mehr Parametern abhängt als den in EC 2 genannten - insbesondere auch von der Bauteilhöhe. Hinzu kommen Unterschiede der Verbundeigenschaften zwischen Stabstahlbewehrungen und geschweißten Bewehrungsgittern, bei denen erheblich geringerer Schlupf auftritt, weil die Verbundkräfte überwiegend punktweise an den Kreuzungsstellen mit den Querstäben in die tragenden Stäbe der Haupttrichtung eingeleitet werden - ein Umstand, der zu Sprödbrüchen einer Biegebewehrung aus Betonstahlmatten führen kann. Auch die Unterscheidung der beiden Stabstahlklassen auf der Baustelle durch "grob sinnlich wahrnehmbare Walzzeichen" ist nicht gegeben. Aus all diesen Gründen wird die Rückkehr zu einer einzigen Betonstahlklasse angestrebt - etwas "besser" als Klasse N -, eventuell in Verbindung mit besonderen Bestimmungen für geschweißte Bewehrungsgitter (Betonstahlmatten).

In den vorliegenden Versuchen kamen als Biegebewehrung nur Stabstähle zur Verwendung, die der Klasse H entsprachen.

Ebenso wichtig für die Rotationsfähigkeit eines Querschnitts wie die Stahleigenschaften ist das Verformungsverhalten der Betondruckzone. Genaue Messungen haben gezeigt [23], daß hohe Stauchungen nur über eine vergleichsweise kurze Strecke auftreten, während unmittelbar benachbarte Bereiche erheblich geringere Verformungen zeigen. Dieser Umstand beeinflusst sowohl die korrekte Ermittlung der Druckzonenhöhe als auch des maßgebenden Krümmungswertes im Erschöpfungszustand, läßt die Messung der Stauchung im Versuch unsicher werden und zeigt, daß eine einheitliche Spannungs-Dehnungslinie sowohl für hochfeste, spröde Betone als auch für Normalbetone fragwürdig sein dürfte. Auch die Form des  $\sigma/\epsilon$ -Diagramms des Betons einschließlich des absteigenden Astes scheint von der Querschnittshöhe beeinflusst zu werden.

Bei der Ermittlung der Krümmungen und Knotendrehungen aufgrund der in den vorliegenden Versuchen erhobenen Meßwerte ergaben sich aus den genannten Gründen Streuungen und Unsicherheiten.

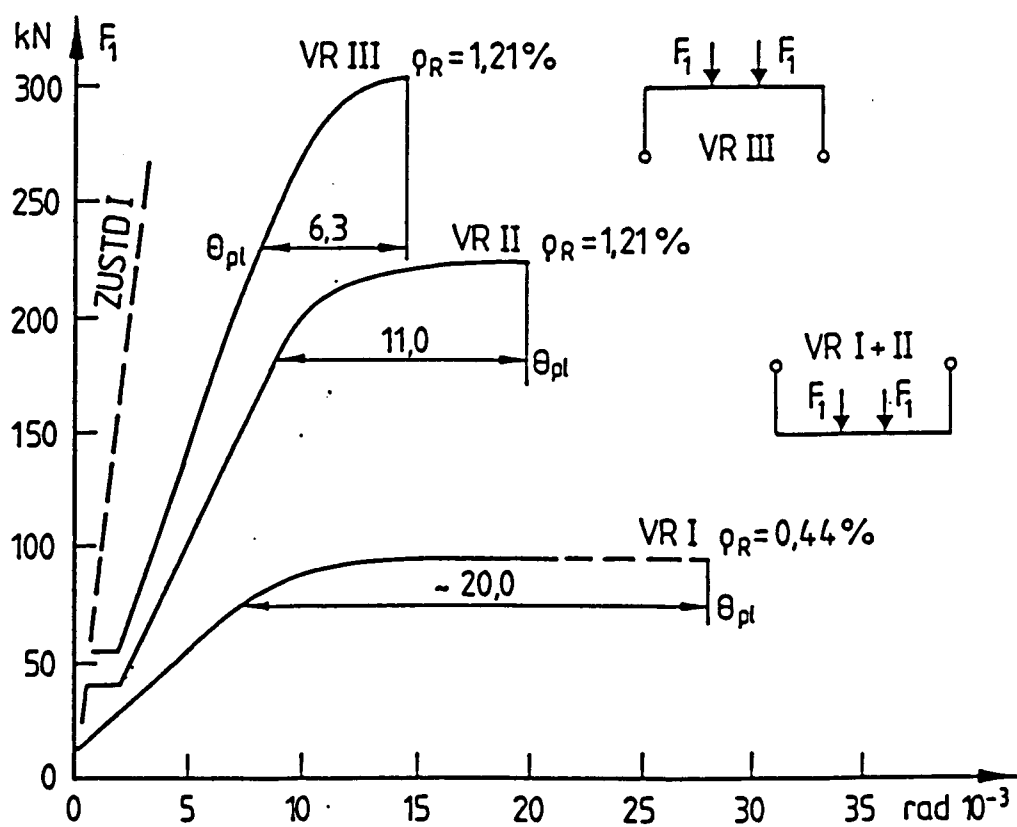
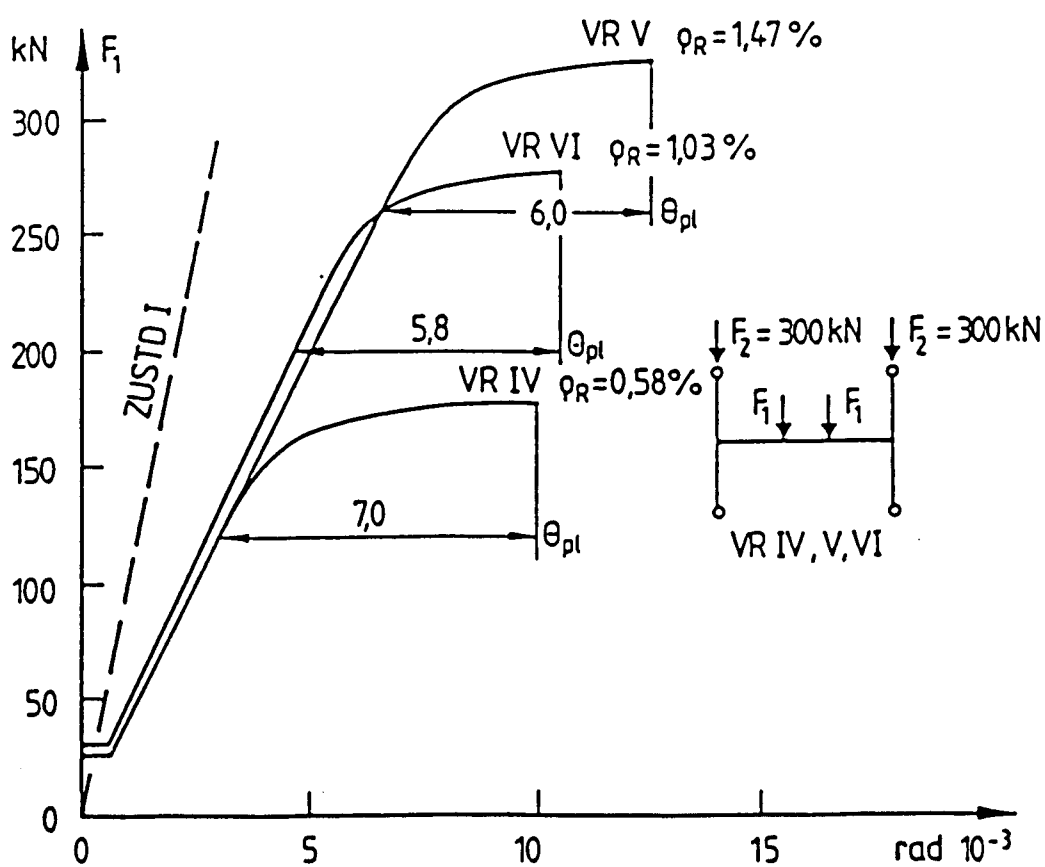
Als plastische Rotation  $\theta_{p1}$  wird im allgemeinen die Differenz zwischen der Gesamtrotation bei maximaler Traglast  $\theta_u$  und der sog. elastischen Rotation  $\theta_{e1}$  bei Erreichen des plastischen Moments  $M_{p1}$  bezeichnet, das bei üblichen Bewehrungsverhältnissen mit dem Erreichen der Fließgrenze in der Biegebewehrung einhergeht. Die Ergebnisse dieser auf mehreren Wegen beschrittenen Untersuchungen sind in Tabelle Bild 2.116 festgehalten:

Für die Ermittlung der Größen  $\theta_u$  und  $\theta_{e1}$  im Riegelanschnitt wurden einerseits die entsprechenden Meßwerte der Verformungen  $\epsilon_s$  und  $\epsilon_c$  bzw. die Krümmungen  $\kappa = \Sigma \epsilon / d$  (Spalte 4 und 5) und andererseits, unabhängig hiervon, die gemessenen, gemittelten Knotenverdrehungen angeführt (Spalte 6). Dabei zeigten sich bei den Krümmungen  $\kappa$  erhebliche Streuungen, was vermutlich auf die durch Rißbildung, Schlupf und nichtlineare Spannungszustände bedingten unregelmäßigen Dehnungszustände im Eck- und Knotenbereich (Kerbspannungen) zurückzuführen ist. Zwischen Bewehrungsführungen mit und ohne Schrägbewehrung konnten systematische und signifikante Unterschiede festgestellt werden (Spalte 5). Die gemessenen Winkeländerungen wurden gesondert angeführt (Spalte 16), so daß ihr Einfluß auf  $\theta_{p1}$  abgeschätzt werden kann (Spalte 17).

Die Krümmungswerte  $\kappa_u$  und  $\kappa_{e1}$  der Riegel-Endquerschnitte (Spalte 4) wurden aus den Aufzeichnungen der Dehnungen von Stahl und Beton abgeleitet; sie wurden den entsprechenden Diagrammen, zugeordnet den einzelnen Versuchen, entnommen und hieraus unter Beachtung der Momentenverteilung im Riegel die Endverdrehungen der Knoten errechnet (Spalte 5). Die unmittelbar gemessenen, gemittelten Knotenverdrehungen sind den Diagrammen (Bilder 2.114 und 2.115) zu entnehmen.

Ergänzend ist anzumerken, daß die Festlegung der Werte  $\theta_{e1}$  aus Knotendrehung und Winkeländerung und damit auch die Differenzbildung zu  $\theta_u$  zusätzlich dadurch beeinträchtigt wurde, daß der Eintritt deutlich überproportionaler Verformungen gelegentlich schon früher einsetzte, als die Dehnungswerte an den Bewehrungsstählen den Eintritt des Fließens anzeigten.

Die Ableitung der Werte  $\theta_u$  und  $\theta_{e1}$  aus den  $\kappa$ -Werten (Spalten 12 - 14) erfolgte rechnerisch und nur in Bezug auf den Riegelanschnitt. Die Begrenzung der Untersuchung auf die Rotationen im Riegelanschnitt schien insbesondere bei den H-Rahmen angezeigt, weil die Aufteilung des Riegeleinspannmomentes auf den oberen bzw. unteren Stiel unter hoher Last unklar wurde.

Bild 2.114 Gemessene Gesamt-Knotenverdrehungen und  $\theta_{pl}$ Bild 2.115 Gemessene Gesamt-Knotenverdrehungen und  $\theta_{pl}$

	$F_{U,T}/F_{el}$		$K_u - K_{el}$ grad/m	$\theta_{pl}$ rad · 10 <sup>-3</sup>	$\theta_{pl}$ gemäß Bild 7	$A_s/A_s'$ cm <sup>2</sup>	$f_y/f_z$ MN/m <sup>2</sup>	$-f_c$ MN/m <sup>2</sup>	$\rho_R/\omega_R$ -	$F_u/F_{el}$ kN	$K_u/K_{el}$ rad · 10 <sup>-3</sup>	$\theta_u/\theta_{el}$ rad · 10 <sup>-3</sup>	$\theta_{pl}$ rad · 10 <sup>-3</sup>	x/d -	$\Delta\varphi_{U,pl}$ links/rechts	5+16 rad · 10 <sup>-3</sup>
1	2 <sup>1)</sup>	3	4	5 <sup>2)</sup>	6	7	8	9	10	11 <sup>3)</sup>	12	13	14	15	16	17
VR I	96	links	0,13	1,14	- 20,0	3,39	520	40	0,44	100	20,2	10,1	4,8	0,23	0,7	1,84 <sup>*</sup>
	75	rechts	0,29	2,53		3,39	680		0,057	78	10,5	5,3			4,5	7,03
VR II	226	l <sup>*)</sup>	0,12	1,05	- 11,0	9,42	600	40	1,21	283	13,4	6,7	1,5	0,26	0	1,05 <sup>*</sup>
	180	r	0,16	1,40		9,42	700		0,18	170	10,3	5,7			1,7	3,10
VR III	304	l	0,24	2,18	6,3	9,42	600	45	1,21	283	22,6	11,3	3,8	0,29	0,1	2,28
	230	r	0,45	3,94		6,20	700		0,161	247	15,0	7,5			0,2	4,14
VR IV	177	l	0,58	- 5,10	7,0	4,5	600	40	0,58	125	19,3	9,7	4,6	0,19	1,2	6,30
	120	r <sup>*)</sup>	- 0,47	- 4,10		3,5	720		0,083	111	10,1	5,1			0,9	5,00 <sup>*</sup>
VR V	325	l	- 0,54	- 4,89	6,0	11,5	600	40	1,47	313	22,6	11,3	3,8	0,35	2,8	7,69
	260	r <sup>*)</sup>	- 0,33	- 2,88		9,4	700		0,22	247	15,0	7,5			2,0	4,88
VR VI	278	l	- 0,33	2,88	5,8	8,0	540	40	1,03	225	21,0	10,5	4,7	0,25	1,8	4,68
	200	r	0,58	5,07		6,2	640		0,142	190	11,5	5,8			1,0	6,07

1)  $F_{U,T}$  und  $F_{el}$  nach Versuchsbeobachtung, siehe Bilder 2.10 und 2.11

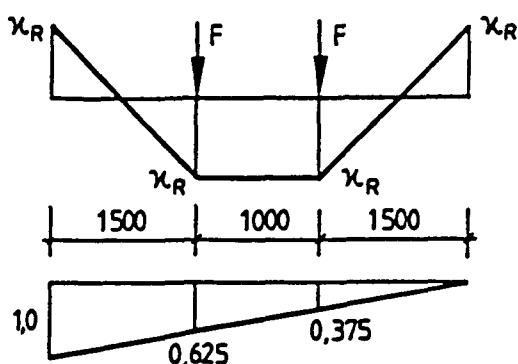
2)  $\theta_{pl} = (K_u - K_{el}) \cdot 17,45 \cdot 10^{-3} / 2$  bei Angabe der Meßwerte K in grad/m (vergl. Rechnung Bl. 2.138)

$k = (\varepsilon_g + \varepsilon_c) / d \cdot 10^{-3}$ ;  $\varepsilon$  in ‰, d in mm

3)  $F_u$  und  $F_{el}$  sind Rechenwerte, ebenso  $k_u$  und  $k_{el}$  in Spalte 12, sowie  $\theta$  in Spalte 13 und 14

\*) mit Schrägbewehrung

Tabelle Bild 2.116: Ermittlung der plastischen Rotation aufgrund der Versuche VR I bis VR VI



Ermittlung der Rotation  $\theta$ :

$$- 1.500/6 \cdot \kappa_R [1,000 - 0,625] = - 1.500/6 \cdot \kappa_R \cdot 0,375$$

$$+ 1,0/2 \cdot \kappa_R [0,625 + 0,375] = \kappa_R/2$$

$$+ 1.500/6 \cdot \kappa_R [0,375] = + 1.500/6 \cdot \kappa \cdot 0,375,$$

somit

$$\theta = \kappa_R/g$$

In Bild 2.117 wurden zum Vergleich die summierten Versuchswerte  $\theta_{p1}$  (Spalte 17) den nach EC 2, Teil 1 erlaubten Werten gegenübergestellt. Hier zeigt sich, daß die im Versuch erzielten Rotationen trotz Verwendung von Stahl Klasse H deutlich unterhalb der für Stahl Klasse N erlaubten Werte verbleiben. Die schon von Stroband [7] nachgewiesene geringere Rotationsfähigkeit des Riegel-Anschlußquerschnitts gegenüber geraden Balken kommt auch hier zum Ausdruck.

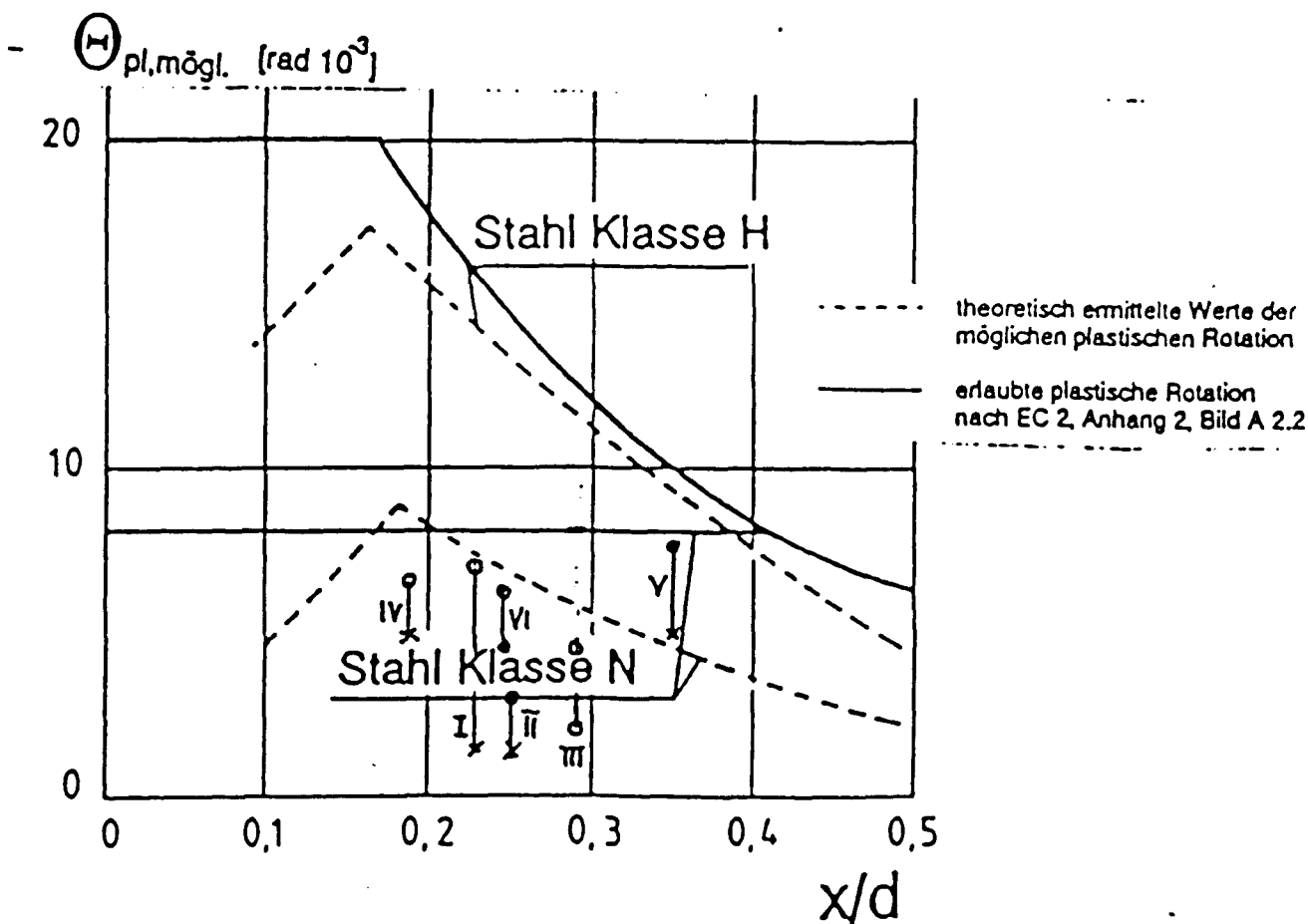


Bild 2.117 Mögliche und erlaubte plastische Rotationen; Versuche VR I bis VR VI eingetragen  
(\* mit Schrägbewehrung, o ohne Schrägbewehrung)

Im Zuge der Auswertung der Versuchsdaten wurde beobachtet, daß bei Einführung der tatsächlich vorhandenen Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Baustoffe einigermaßen zutreffende Werte  $\theta_{p1}$  ermittelt wurden, die standardisierten Baustoffwerte jedoch in der Regel zu deutlich überhöhten Werten  $\theta_{p1}$  führen; Die Ursache hierfür dürfte vor allem in der Einführung der wirklichkeitsfernen Stahldehnung  $\epsilon_{s,u}$  von  $\geq 10 \text{ ‰}$  zu suchen sein. Die Rechenergebnisse für  $\kappa$  wären wesentlich wirklichkeitsnäher, wenn  $\epsilon_{s,u} \leq 5 \text{ ‰}$  gewählt würde.

Die Einbeziehung der Abweichungen von planmäßigen  $90^\circ$ -Winkeln zwischen Riegel und unterem Stiel  $\Delta\varphi_u$  beeinflusst das Gesamtbild, wie Tabelle Bild 2.116 zeigt. Die Werte  $\Delta\varphi_u$  in Spalte 16 beschreiben gleichsinnige Rotationen, wie die Gesamtrotationen und wurden hier ebenfalls auf den Beanspruchungsbereich  $\theta_{p1} = \theta_u - \theta_{e1}$  bzw.  $F_{UT} - F_{e1}$  bezogen. Die zusätzliche Berücksichtigung der Werte  $\Delta\varphi_u$  bei den Rechenwerten  $\theta_{p1}$  in Spalte 5 und Spalte 14 erscheint berechtigt (Spalte 17), nicht jedoch bei den gemessenen Gesamt-Knotendrehungen in Spalte 6. Die zum Teil erheblichen Unterschiede zwischen den Werten  $\theta_{p1}$  nach Spalte 6 gegenüber jenen in Spalte 17 deuten darauf hin, daß die Werte zu Spalte 6 (Gesamtrotationen) durch Öffnen einzelner Risse beeinflusst wurden. Dieser Effekt konnte bei der Ermittlung der Werte  $\theta_{p1}$  aufgrund der Krümmungen - Spalte 5 und 17 - nicht in gleicher Weise erfaßt werden. Auch enthalten die Werte  $\Delta\varphi_u$  Unsicherheiten.

Bigaj und Walraven [23] legen die Ergebnisse einer Untersuchung über den Einfluß von Bauhöhe und Bewehrungsgehalt vor (Bild 2.118). Der dort gezeigte Abfall der plastischen Rotation  $\theta_{p1}$  mit ansteigendem Bewehrungsgehalt und zunehmender Bauhöhe ist signifikant. Die vorliegenden Versuchsergebnisse wurden in Bild 2.119 in Abhängigkeit von  $\omega = \rho_R \cdot f_y/f_c$  dargestellt. Eine Abhängigkeit vom Bewehrungsgehalt, wie in [23] beobachtet, wird bei Rahmenecken deutlich, weniger bei Rahmenendknoten. Da die Bauhöhe der Riegel unverändert blieb, konnte der Einfluß der Bauhöhe auf  $\theta_{p1}$  in den vorliegenden Versuchen nicht erfaßt werden.

Die Angaben von  $\theta_{p1}$  in EC 2, Teil 1 gelten einerseits als Grenzwerte erlaubter Rotationen nach Eintritt des Fließens, andererseits aber versprechen sie ein bestimmtes Verformungsverhalten, das nur von Stahlgüteklasse und Druckzonenhöhe  $x/d$  abhängt. Wie bereits dargestellt, werden jedoch die Rotationen der Massivbauteile von weit mehr Parametern beeinflusst.

Nicht zu vernachlässigen sind u.a. folgende Einflüsse:

- Punktueller Haftverbund bei geschweißten Bewehrungsmatten - im Unterschied zur Verbundspannung/Schlupfbeziehung von Stabstählen - in Verbindung mit geringerer Gleichmaßdehnung,
- Bewehrungsgehalt  $\rho < 0,4 \%$ , Gefahr von Stahlbrüchen bei Bildung von Biegerissen im Bereich hoher Querkkräfte,
- Querschnittshöhe und Bewehrungsgehalt,
- Geringeres Rotationsvermögen bei Bauteilen mit geknickten Laibungen.

Bei den nach EC 2, Teil 1 geforderten Nachweisen über die Rotationen unter Grenzzustandsbedingungen können sich somit Gefahren ergeben, wenn die unter Verwendung zu großer Verformungswerte ( $\epsilon_{s,u} \geq 10 \text{ ‰}$ !) für das zu bemessende Bauteil *errechneten* Rotationen zwar innerhalb der zulässigen Werte liegen, aber deutlich größer sind als die z.B. *hier im Versuch nachgewiesenen* aufnehmbaren Rotationen und die bei Stabstählen beobachteten Rotationen unmittelbar auch auf Bauteile mit Baustahlmatten-Bewehrung übertragen werden.

Bei einer Anwendung des Traglastverfahrens ist daher bei der Bemessung von Rahmenecken und -knoten in verschieblichen Rahmentragwerken Vorsicht angebracht. Auch sog. Nicht-lineare Berechnungsverfahren müßten aufgrund der hier gewonnenen Versuchsergebnisse auf die begrenzten Rotationswerte  $\theta_{p1}$  Rücksicht nehmen. In [32] wird berichtet, daß ein Versagen verschieblicher mehrstieliger Rahmensysteme schon bei einer deutlich geringeren Anzahl plastischer Gelenke ermittelt wurde, als für einen vollen Versagensmechanismus erforderlich sind.

Bei unverschieblich ausgesteiften Rahmentragwerken (vergl. EC 2, Teil 1, A 3.2) könnte eine Umlagerung der Rieгельmomente bis zu 15 % - mit Ausnahme der Endknoten - zugelassen werden.



### 2.8.6 Vergleich der gemessenen Momentenverteilung mit den Ergebnissen der Elastizitäts-Theorie; Bemessungshinweise

Der Vergleich der Eck- und Feldmomente  $M_E$  im Gebrauchszustand nach E-Theorie gegenüber den aus den gemessenen Auflagerreaktionen errechneten Versuchsmomenten  $M_T$  ergab folgende Ergebnisse:

Rahmen III	zweistieliger Stockwerksrahmen mit negativem Eckmoment keine erkennbaren Unterschiede zwischen $M_E$ und $M_T$
Rahmen I und II	zweistielige Stockwerksrahmen mit positivem Eckmoment; Biegebewehrung schlaufenartig übergreifend geführt
Ecke: $M_T/M_E \approx 0,90$	(Rahmen II rechts Ausreißer mit $\sim 0,70$ , keine Schrägbewehrung)
Feld: $M_T/M_E \approx 1,10$	
Rahmen IV, V, VI	Rahmen-Endknoten
Riegel-Einspannmoment:	$M_T/M_E \approx 0,90$
Stiel-Einspannmoment "unten":	$M_T/M_E \approx 1,17$
Stiel-Einspannmoment "oben"	$M_T/M_E \approx 0,90$
Feldmoment:	$M_T/M_E \approx 1,15$

Die vorgenannten, gemittelten Zahlen wurden aus den Momentenverteilungen im Versuch nach Durchführung der Schwellbeanspruchung abgeleitet.

Im Bruchzustand wachsen die Abweichungen der Momente im Versuch gegenüber den Ergebnissen der Elastizitätstheorie naturgemäß noch weiter an, insbesondere übernimmt das Stieleinspannmoment "unten" unter Entlastung des Stieleinspannmomentes "oben" erhöhte Anteile des Riegeleinspannmomentes. Auf die Folgen einer überhöhten Beanspruchung des Verbundes der Stützenbewehrung wurde in [2] und [13] hingewiesen.

Bei Rahmenecken unter negativem Moment kann auf Bild 2.8 und [2], [13] Bezug genommen werden; es sollte die Bemessung für das Moment im Riegel- und Stielanschnitt I-I, Bild 2.9, erfolgen.

Die Bemessung von Rahmenecken unter positivem Moment sollte nicht auf den Anschnitt (z.B. O.K. Riegel), sondern auf die obere Riegel-Bewehrungslage bezogen werden (vergl. Beispiel 2 in [13]).

Die folgenden Hinweise für Bemessung und Entwurf von Bauteilen mit abgebo- genen oder geknickten Laibungen setzen voraus, daß der Beton einer Festig- keitsklasse  $f_{ck} \geq 25$  entspricht, Rippenstahl als Stabstahl oder als ge- schweißte Bewehrungsmatte verwendet wird und kreuzende Bügel, auch in Form von Haarnadelbügeln, bzw. Querbewehrung bei plattenartigen Bauteilen in den Knotenbereichen angeordnet werden. Bei stabförmigen Bauteilen mit einer Bauhöhe von mehr als 1,0 m sind zusätzliche Bewehrungsstäbe, verteilt über die Zugzone, anzuordnen.

Bei Beachtung der Hinweise sind im Gebrauchszustand Rißbreiten  $\leq 0,3$  mm zu erwarten.

#### - Zweistielige Rahmen mit positiven Eckmomenten (Versuche VR I und II)

Diese Rahmen erwiesen sich als sehr verformungsweich, wofür nicht nur die Rißbildung im Eckbereich, sondern auch die Zugbeanspruchung der Stiele infolge vermehrter Rißbildung ursächlich sein dürfte. Mit einer Verminde- rung der Eckmomente zu Lasten des Riegelfeldes wäre demnach zu rechnen (+ 15 %), wobei allerdings das Einspannmoment des Riegels im Stiel aus Vorsichtsgründen nicht abgemindert werden sollte, sondern für den vollen Wert nach E-Theorie I zu bemessen wäre. Auch für den Fall einer deutlich höheren Steifigkeit der Stiele gegenüber dem Riegel sollte ähnlich ver- fahren werden. Schrägbewehrungen können durch haarnadelartig geführte Zu- lagen zu den Biegebewehrungen in Stielen und Riegel mit  $A_s - 1/2 A_{s,R}$  er- setzt werden.

Besondere Überlegungen zur Systemsteifigkeit sind bei Rahmentragwerken dieser Art nicht erforderlich; allenfalls ist eine Stabilitätsuntersu- chung der Stiele nötig wie etwa bei offenen Behältern, deren Wände auch Lotlasten zu tragen haben.

#### - Zweistielige Rahmen mit negativen Eckmomenten (Versuch VR III)

Eine Verminderung der wirksamen Einspannung des Riegels in die Stiele scheint nicht aufzutreten, wenn die Momentenkapazität der Stiele größer oder gleich jener des Riegels ist. Dies dürfte so lange gesichert sein, wie die Riegelbewehrung jener der Stiele entspricht und die Bauhöhen identisch sind. Rahmen mit schlanken Stielen sind einem Stabilitätsnach- weis zu unterziehen, der nicht nur die Stiele, sondern gegebenenfalls auch die Systemstabilität des Rahmens zu erfassen hätte. Die Verformungen von Stielen und Riegeln nach Theorie II. Ordnung sind bei der Bemessung aller Bauteile naturgemäß zu berücksichtigen.

#### - Rahmenendknoten (Versuche VR IV bis VR VI)

Wie bereits erläutert, zeigen die Versuche, daß die nach E-Theorie I ermittelten Schnittgrößen einer Korrektur bedürfen: die Feldmomente des anschließenden Riegels sollten um 15 % erhöht werden, die Bemessung im Knoten jedoch für die vollen rechnerischen Momente erfolgen [2, 13]. Bei selbststabilisierenden Rahmentragwerken muß die Bewehrungsführung im Riegel u.U. die Möglichkeit eines Vorzeichenwechsels des Riegeleinspannmomentes berücksichtigen. Die Bilder 2.99 geben Hinweise und zeigen auch, wie Schrägstäbe durch Zulagen mit  $j \geq 1/3 A_{S,Riegel}$  ersetzt werden können.

Bei Überschreitung der Verbundfestigkeiten der Stützenbewehrung im Knotenbereich infolge zu hoher Stahlspannungs-Änderung sollten die gedrückten Bewehrungsstäbe bei der Ausschnitts-Bemessung nicht in Ansatz gebracht werden [2, 13].

#### - Rahmeninnenknoten

In ausgesteiften Rahmensystemen sind Momentenumlagerungen bis zu 15 % zur Entlastung der Stützmomente erlaubt. Schrägbewehrungen können durch Zulagen zu den randnahen Bewehrungsstäben der Stützen und zu den oben liegenden Riegelbewehrungen mit einem Querschnitt von etwa  $1/3 A_{S,Riegel}$  ersetzt werden.

Aufgrund vorliegender Versuche [27] und der Erfahrungen in Erdbebengebieten ist bei selbststabilisierenden Rahmentragwerken nach Möglichkeit eine höhere Momententragfähigkeit der Stiele als die der Riegel anzustreben. Dabei darf die versteifende Wirkung einer Druckbeanspruchung der Stiele berücksichtigt werden. Vorschläge für die Bewehrungsführung wurden in Abschnitt 2.8.4 und in den Bildern 2.111 und 2.112 gegeben. Schrägbewehrungen sollten durch Zulagen ersetzt werden. Auf die Einhaltung der Verbundfestigkeitsgrenzen ist zu achten.

### 2.8.7 Winkeländerungen

Stroband und Kolpa haben in [6] und [7] über ihre Versuchsergebnisse an Rahmenecken unter positivem und negativem Moment berichtet und die gemessenen Winkeländerungen im Gebrauchs- und Bruchzustand dargestellt (Bilder 1.6 und 1.9).

Die in den neuen Versuchen gewonnenen Meßwerte wurden in diese Darstellungen eingetragen; dabei ist zu berücksichtigen, daß die Verhältnisse Gebrauchslast zu Bruchlast nur annähernd übereinstimmen, wesentlich dickere Bewehrungsstäbe und größere Betonquerschnitte verwendet wurden und die Betongüte  $\beta_w$  mit rd. 40 N/mm<sup>2</sup> den von Stroband und Kolpa abgedeckten Bereich deutlich überschritt. Bei den Versuchen IV, V und VI wurden aus den Versuchsergebnissen unter positivem Moment nur die zwischen oberem Stiel und Riegel gemessenen Winkeländerungen berücksichtigt, bei den Versuchen unter negativem Moment nur die Werte zwischen unterem Stiel und Riegel (Bilder 2.120 und 2.121).

Diese Bilder zeigen sowohl für den Gebrauchs- als auch für den Bruchzustand eine überraschend gute Bestätigung der in [6, 7] gefundenen Tendenzen: Schrägbewehrungen führen bei positiven Eckmomenten zu einer deutlichen Versteifung, die mit zunehmender Betongüte noch ansteigt.

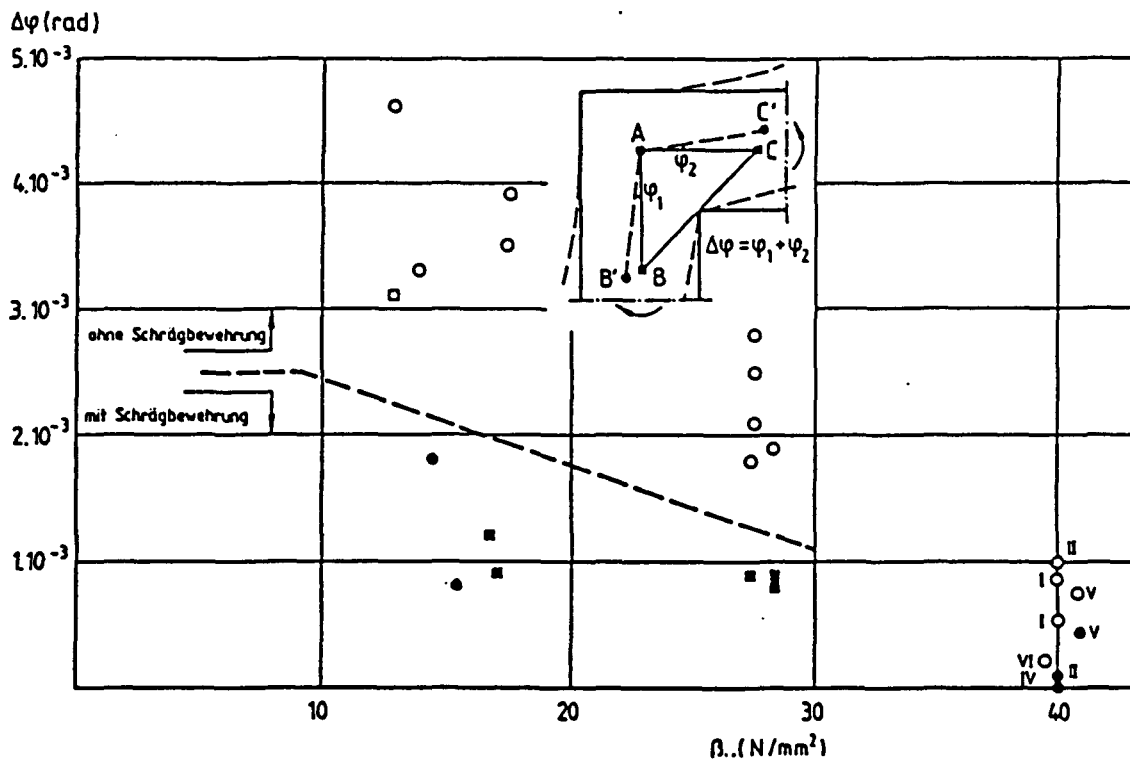


Bild 2.120a: Gemessene Winkeländerungen der Versuche von Stroband/Kolpa bei positivem Gebrauchslastmoment, ergänzt durch Ergebnisse VR I und II sowie VR IV - VI; ● mit Schrägstab; ○ ohne Schrägstab

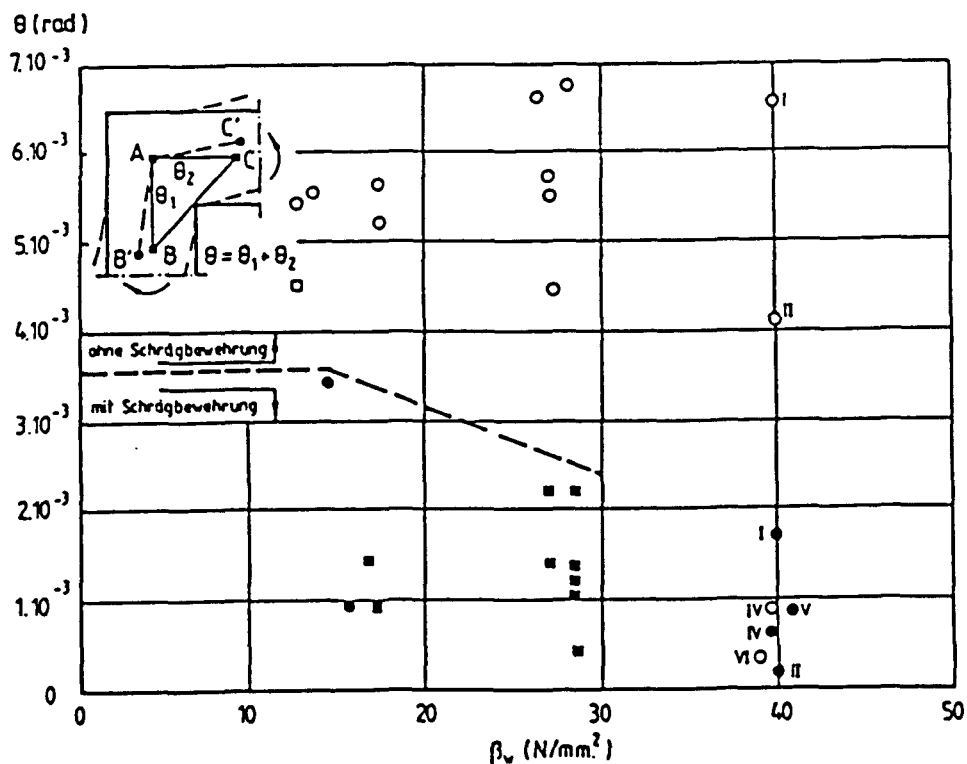


Bild 2.120b: Gemessene Winkeländerung der Versuche von Stroband/Kolpa bei positivem Bruchmoment, ergänzt durch Ergebnisse VR I und II sowie VR IV - VI; ● mit Schrägstab; ○ ohne Schrägstab

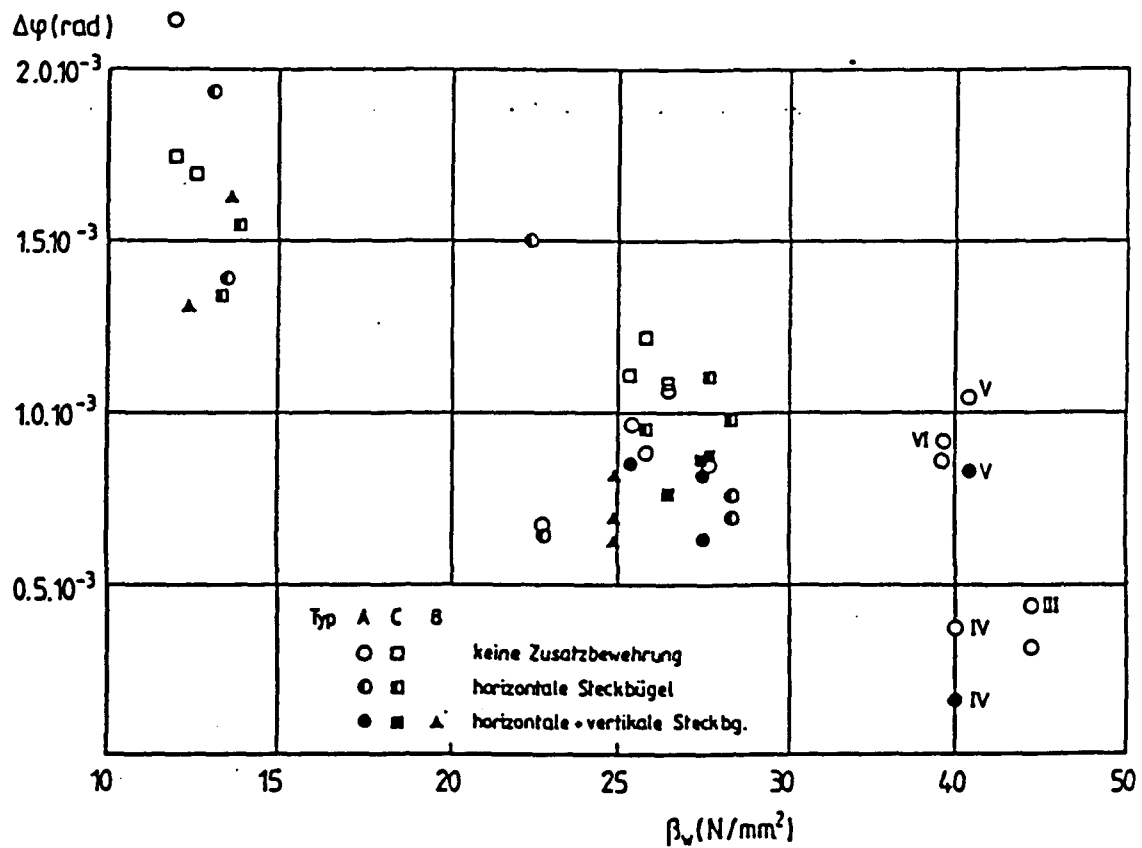


Bild 2.121a: Gemessene Winkeländerungen der Versuche von Stroband/Kolpa bei negativem Gebrauchsmoment, ergänzt durch Ergebnisse aus VR III, IV, V, VI

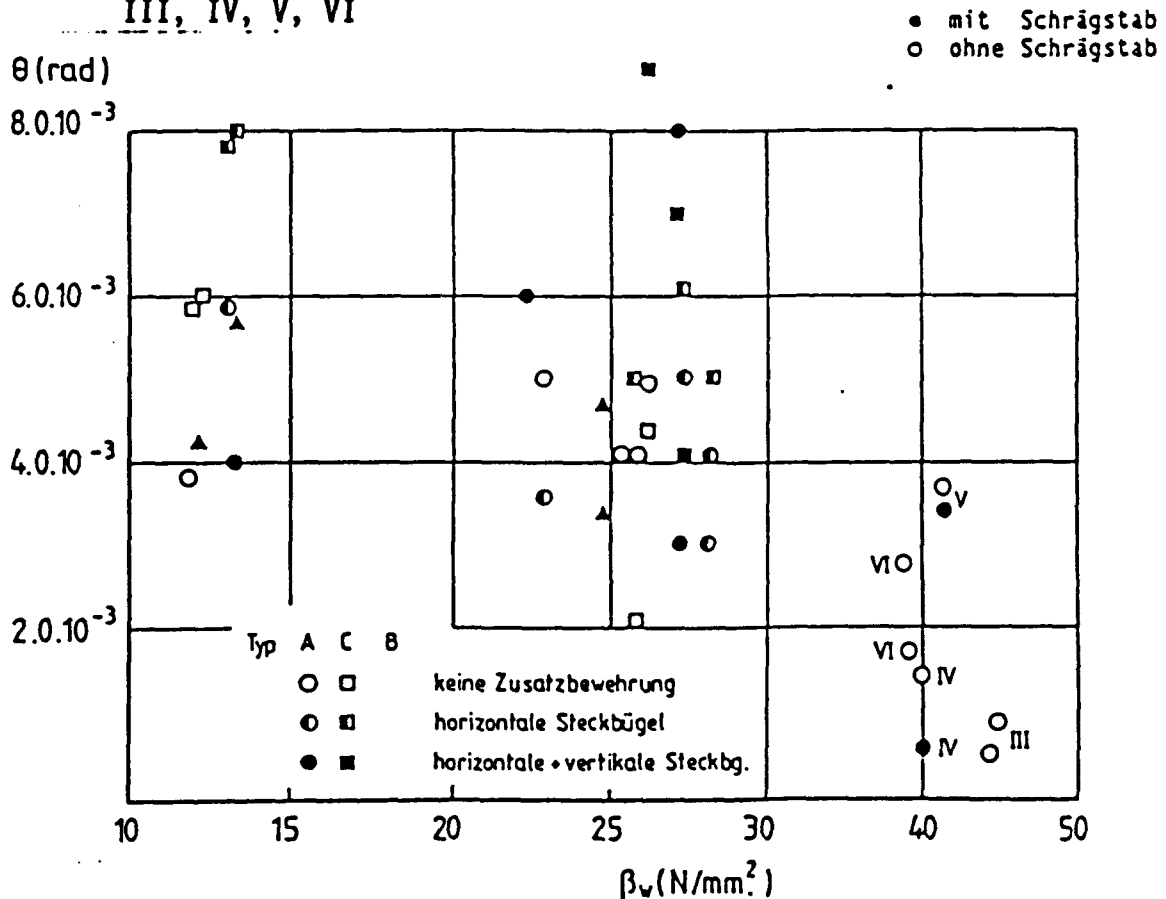


Bild 2.121b: Gemessene Winkeländerungen der Versuche von Stroband/Kolpa bei negativem Bruchmoment, ergänzt durch Ergebnisse aus VR III, IV, V, VI

● mit Schrägstab

○ ohne Schrägstab

## 2.8.8 Rißbreiten

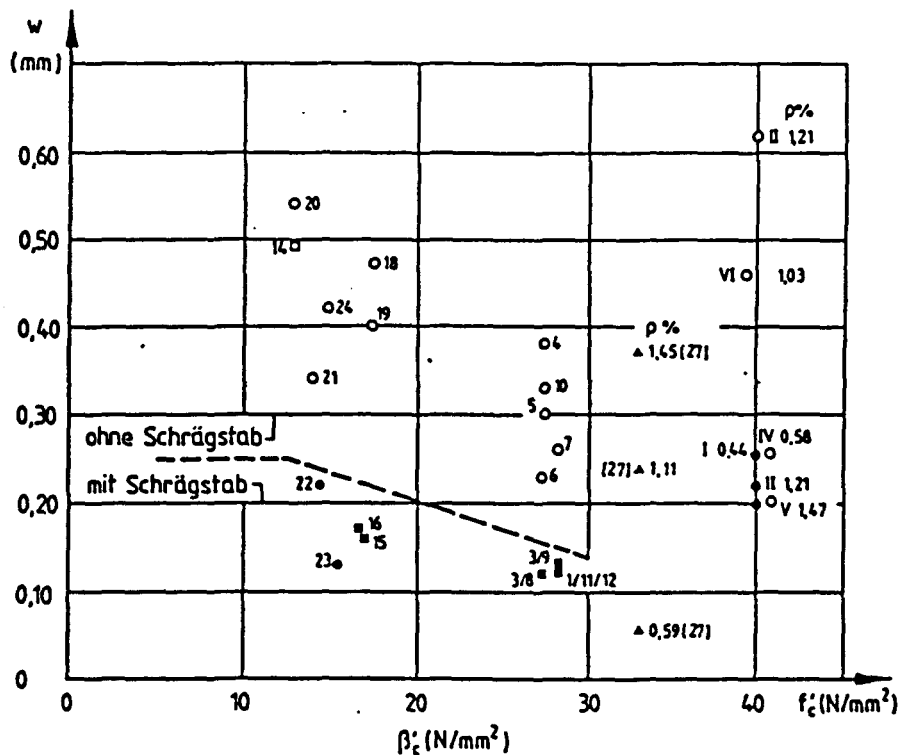


Bild 2.122: Gemessene Rißbreiten der Versuche von Stroband/Kolpa bei positivem Gebrauchsmoment, ergänzt durch Ergebnisse VR I und II sowie VR IV - VR VI nach Ermüdungsbelastung

- mit Schrägstab
- ohne Schrägstab
- ▲ Innenknoten [27], vergl. Bild 2.110

Die Entwicklung der Rißbreiten im Gebrauchszustand unter positivem Moment nach Stroband/Kolpa (Bild 1.7) wurde hier in Bild 2.122 mit den Ergebnissen der neuen Versuche ergänzt. Zwar zeigen die Versuche mit Schrägbewehrung geringere Rißbreiten gegenüber den Werten ohne Schrägbewehrung, doch hat sich die von Stroband/Kolpa aufgezeigte Tendenz nicht bestätigt: Auch bei Betongüten von 40 N/mm² wurden Rißbreiten von 0,2 bis 0,25 mm gemessen, auch bei Schrägbewehrung. Ursächlich hierfür dürften die in den neuen Versuchen im Vergleich zu Stroband/Kolpa verwendeten größeren Stabdurchmesser sein. Dies bedeutet, daß zur Sicherung einer Rißbreite  $w \leq 0,25$  mm bei positivem Moment in der Regel eine Schrägbewehrung angeordnet werden sollte. Im Behälterbau mit besonders hohen Ansprüchen an die Dichtheit wird im Eckbereich Wand-Bodenplatte (Arbeitsfuge) meist zusätzlich ein Fugen-Dichtungsband angeordnet. Bild 2.101 zeigt eine empfehlenswerte Lösung.

Meßwerte für Rißbreiten bei positivem Bruchmoment werden von Stroband/Kolpa nicht mitgeteilt.

Die Vergrößerung der Rißbreite  $w$  im Anschnitt der Riegel durch Ermüdungsbeanspruchung im Lastbereich bis zur Gebrauchslast (10.000 LW) kann aus den Meßwerten zu den einzelnen Versuchen abgeleitet werden. Bild 2.123 zeigt das Ergebnis: die Darstellung in Abhängigkeit vom mechanischen Bewehrungsgehalt  $\omega_R$  läßt allerdings - ähnlich wie in Bild 2.119,  $\theta_{p1}$  in Ecken und Knoten - nur bei VR I und VR II einen deutlichen Einfluß von  $\omega_R$  auf die Rißbreite  $w$  erkennen (Ecken unter positivem Moment). Bei Rahmenendknoten scheinen Einzelheiten der Bewehrungsführung zu dominieren. Dies wird durch Vergleich der Rißbreiten von VR VI mit VR IV und VR V deutlich.

Die Vergrößerung der Rißbreite  $w$  nach Ermüdungsbeanspruchung nimmt bei allen Versuchskörpern - ausgenommen VR VI - mit steigendem  $\omega_R$  ab; es zeigt sich ein günstiger Einfluß einer vergleichsweise dichten Bewehrungsführung.

Die in den Versuchen VR I bis VI gemessenen maximalen Rißbreiten  $w$  in mm im Riegelanschluß werden in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Versuch	Gebrauchsmoment			Bruchmoment	Breite
	vor	nach	Ermüdung		
VR I	0,22	0,25	+ 15 % (+ M)	0,75 <sup>*</sup> /1,5	mm
VR II	0,20	0,22 (0,62)	+ 10 % (+ M)	0,65 <sup>*</sup> /1,0	mm
VR III	0,30	0,38	+ 30 % (- M)	0,87/0,52	mm
VR IV	0,20	0,25	+ 25 % (Knoten)	2,0/1,1 <sup>*</sup>	mm
VR V	0,17	0,20	+ 20 % (Knoten)	0,9/0,9 <sup>*</sup>	mm
VR VI	0,39	0,45	+ 15 % (Knoten)	1,8/4,2	mm

\* mit Schrägstab

In Bild 2.123 wurden Bewehrungsführungen mit Schrägstäben nicht besonders hervorgehoben. Die Unterschiede zu Lösungen ohne Schrägstäbe sind unter Gebrauchslastbedingungen nicht so signifikant, daß sich eine getrennte Darstellung lohnt. Es wurden Mittelwerte dargestellt. Eine Ausnahme wurde bei VR II gemacht, wo an der Ecke ohne Schrägstab ein "Ausreißer" auftrat, der sich im übrigen auch im Rahmen der folgenden Untersuchung der Durchbiegungsverläufe bemerkbar macht.

Die Rißbreiten-Vergrößerungen wurden in Bild 2.123 in %, bezogen auf die Werte vor der Ermüdungsbeanspruchung - angegeben; die Werte liegen i.M. bei 20 %.



$F_{e1}$  zu verkleinern (Spalte 8 in Tabelle Bild 2.124). Es ergeben sich die in Tabelle Bild 2.124 zusammengefaßten Werte  $\delta$ :

VR	$F_{\text{gebr}}$ kN	$F_{e1}$ kN	$\delta$		$\kappa_{e1}$ $\cdot 10^{-3}$	$\kappa_{e1}$ $\cdot 1,35$ $\cdot 10^{-3}$	$\kappa_{e1}$ $\cdot 1,50$ $\cdot 10^{-3}$	$\delta_{\text{rechn}}$ Gebrauchs- zustand mm	$\delta$ E-Theorie mm	$EJ^{II}/EJ_0$ Sp. 9/3 -
			vor mm	nach Schwellbed. mm						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	42	75	7,1	8,4	10,5	14,2		7,9	1,5	0,20
II	95	180	10,6	13,2	10,3	13,9		7,4	3,1	0,29
III	196	230	15,0	16,8	15,0	20,3		16,7	6,5	0,43
IV	78	111	8,6	10,3	10,1		15,2	10,7	3,2	0,37
V	180	247	15,1	18,4	15,0		22,5	16,4	7,4	0,49
VI	150	190	13,4	17,0	11,5		17,3	13,7	6,1	0,46

Tabelle Bild 2.124: Nachrechnung der Durchbiegungen

Bis auf Versuch VR II ist die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Meßwert befriedigend; Versuch II zeigte an einer Rahmenecke eine überraschend große Rißbreite, was möglicherweise zu einer Vergrößerung der Durchbiegung beigetragen hat.

In Bild 2.125 sind die Ergebnisse der Durchbiegungsmessung in Abhängigkeit von den Lasten  $F_1$  dargestellt. Die Auswirkungen der Schwellbelastung sind deutlich zu erkennen, der Übergang von Zustand 1 nach Zustand 2 hingegen nicht.

Der Steifigkeitsverlust durch Rißbildung kann aus Spalte 10 entnommen werden;  $EJ^{II}$  ergibt sich als Mittel aus den Versuchen VR III - VR VI mit etwa 44 % von  $EJ_0$ ; bei den Versuchen VR I und II mit nur positiven Eckmomenten ergaben sich deutlich größere Steifigkeitsverluste. Für Gebrauchslasten nach DIN 1045 wäre bei geraden Durchlaufbalken mit einem Abminderungskoeffizienten von etwa 0,7 bei einem Bewehrungsprozentsatz  $\rho_R$  von 1,2 zu rechnen gewesen; der erhebliche Unterschied von 0,44 bei Rahmenendknoten zu 0,7 bei geraden Durchlaufträgern dürfte darauf zurückzuführen sein, daß in den Endknoten u.a. wegen der Biegeverformungen der Stützen zusätzlich Rotatio-

nen auftreten, während dies bei Durchlaufbalken wegen des Momentengleichgewichts beiderseits eines Zwischenauftragers nicht vorausgesetzt wird. Hinzu kommt die Auswirkung der frühzeitig auftretenden Kehlrisse im positiven Momentenbereich.

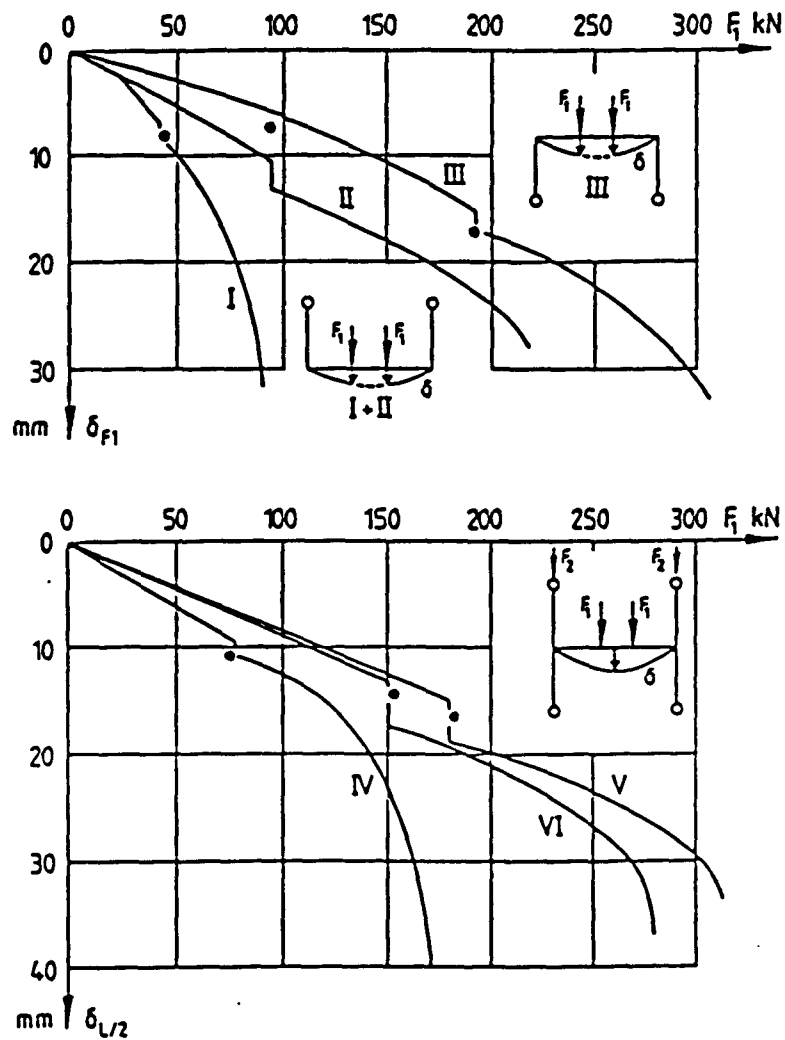


Bild 2.123: Ergebnisse der Durchbiegungsmessung  
\* Rechenwerte

## 2.9 Offene Fragen

Angesichts des zunehmenden Einsatzes von hochfestem Beton, z.B. bei Hochhäusern mit tragenden Skelettkonstruktionen, erscheint eine experimentelle und rechnerisch-theoretische Überprüfung der bisher entwickelten Ansätze für die Bemessung und Bewehrungsführung von Rahmenknoten dringend erforderlich. Hierbei wird man naturgemäß auch das Auftreten von Horizontalkräften aus beiden "Richtungen" in Rechnung zu stellen haben, sofern diese tragenden Skelettkonstruktionen auch aussteifende Funktionen gegenüber Wind oder Erdbeben zugewiesen erhalten. Untersuchungen dieser Art müßten nicht nur an Endknoten, sondern auch an ebenen und räumlichen Innenknoten durchgeführt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde u.a. gezeigt, daß Schrägstäbe in den Ecken bzw. Knoten in den meisten Fällen durch Zulagen zu den Biegebewehrungen der Riegel bzw. Stützen ersetzt werden können. Untersuchungen dieser Art müßten fortgesetzt werden angesichts der Bestrebungen, die Querschnitte möglichst schlank zu halten. Der Einbau von Schrägstäben bei Innenknoten - womöglich kreuzend angeordnet bei wechselndem Drehsinn der Biegemomente - ist in diesen Fällen außerordentlich hinderlich. Hier stellt sich auch die Frage, ob der Einsatz von Stahlfasern helfen kann, zu vereinfachten Bewehrungsführungen zu gelangen.

Aufmerksamkeit verdient die Frage, welches Verformungsverhalten Rahmenecken zugewiesen werden kann; die bisher vorliegenden Erfahrungen zeigen, daß sich Rahmenecken unter Einwirkung positiver und negativer Momente im Bereich der Gebrauchslasten vergleichsweise steifer verhalten - also ein geringeres Rotationsvermögen zeigen - als die anschließenden biegebeanspruchten Riegel bzw. Stützen. Dieses Verhältnis scheint sich bei Annäherung an den Bruchzustand nicht signifikant zu ändern. Das Verformungsverhalten von Rahmenknoten dürfte ähnlich sein und geringeres Rotationsvermögen zeigen als die anschließenden Riegel oder Stützen.

Umlagerungen der Schnittgrößen in selbst-stabilisierenden Rahmentragwerken bzw. die Anwendung des Traglastverfahrens sollten unterbleiben.

Die bisherigen Festlegungen in EC 2, Teil 1, im Hinblick auf drei Betonstahlgruppen mit unterschiedlicher Duktilität - hier ist der Sonderstahl für Bauwerke in Erdbebengebieten hinzugezählt - bedarf dringend der Überprüfung, um der Verwechslungsgefahr auf der Baustelle zu begegnen. Für Bauwerke außerhalb erdbebengefährdeter Gebiete sollte nur eine Betonstahlgruppe vorgesehen werden. Unabhängig davon bedarf die Frage der Bewertung von geschweißten Bewehrungsmatten im Hinblick auf Tragfähigkeit und Verformbarkeit von Rahmenecken besonderer Untersuchung, die bisher fehlen.. Auf die erheblichen Unterschiede des Haftverbundes zwischen Stabstahl und Bewehrungsmatten ist hier insbesondere hinzuweisen; dies scheint ja der hauptsächliche Grund dafür zu sein, daß bei schwacher Mattenbewehrung vor allem im Bereich negativer Momente unangekündigte Brüche des Mattenstahles auftreten. Offensichtlich führen die angeschweißten Querstäbe zu einer gefährlichen Konzentration der Stahl-Zugkräfte im Biegerißbereich.

Die Einflüsse von Querschnittshöhe und Bewehrungsgehalt auf das Verformungsverhalten von Ecken und Knoten scheinen in der gegenwärtig gültigen Fassung von EC 2, Teil 1 nicht bzw. unzureichend berücksichtigt zu sein.

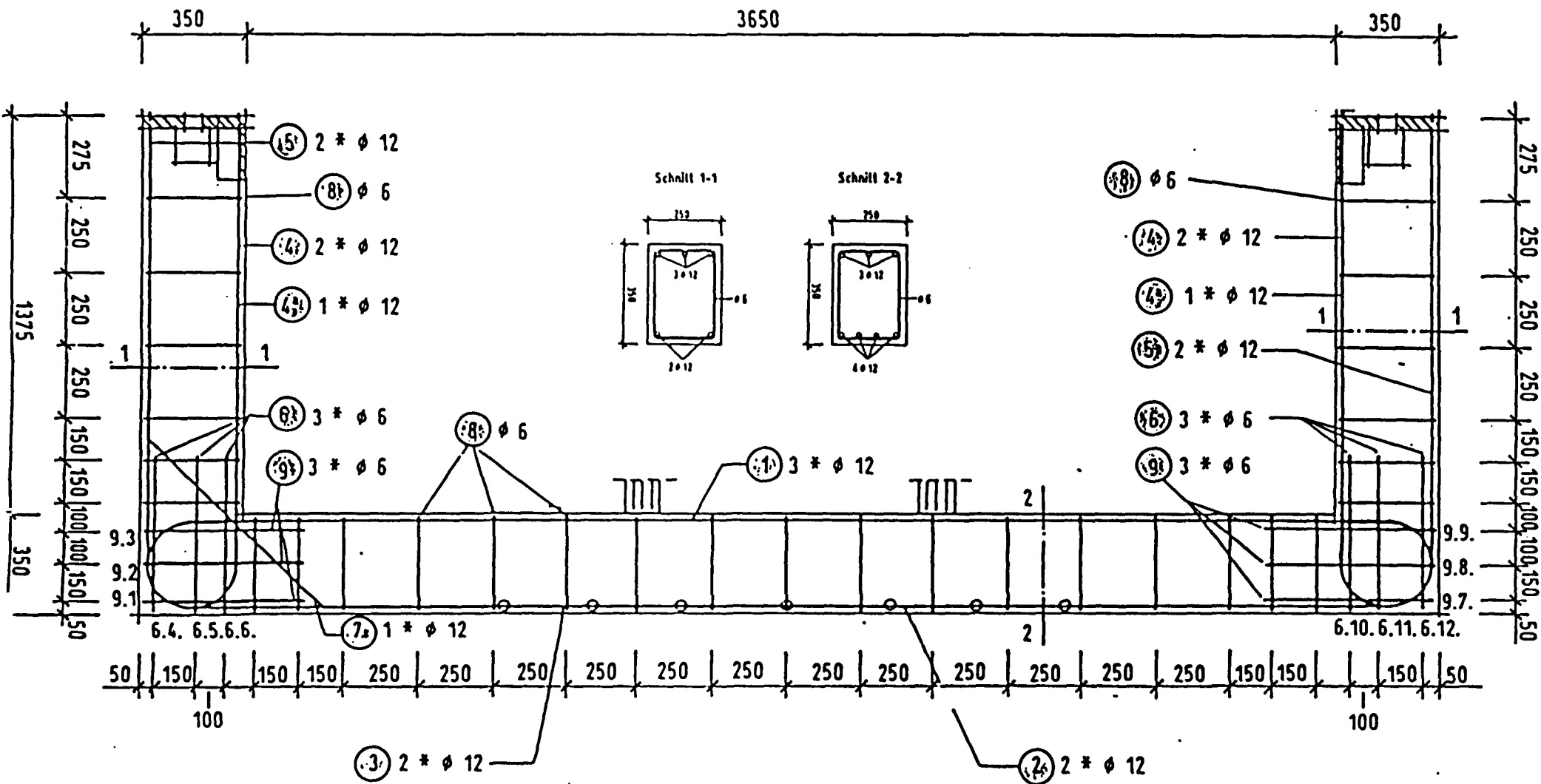
Die Vorspannung wird im Rahmen der konstruktiven Bearbeitung von Rahmenecken und Rahmenknoten bislang nur selten eingesetzt. Es erscheint jedoch nicht konsequent, diesen Anwendungsbereich der Vorspannung so stiefmütterlich zu behandeln. Die Frage einer optimalen Führung der Spannglieder und das Verformungsverhalten vorgespannter Rahmenknoten sollten näher untersucht werden; hierbei wäre auch der Einsatz von Litzenpanngliedern mit Dauerkorrosionsschutz zu berücksichtigen. Vereinfachungen der Bewehrungsführung könnten durch Stahlfaserbeton erzielt werden.

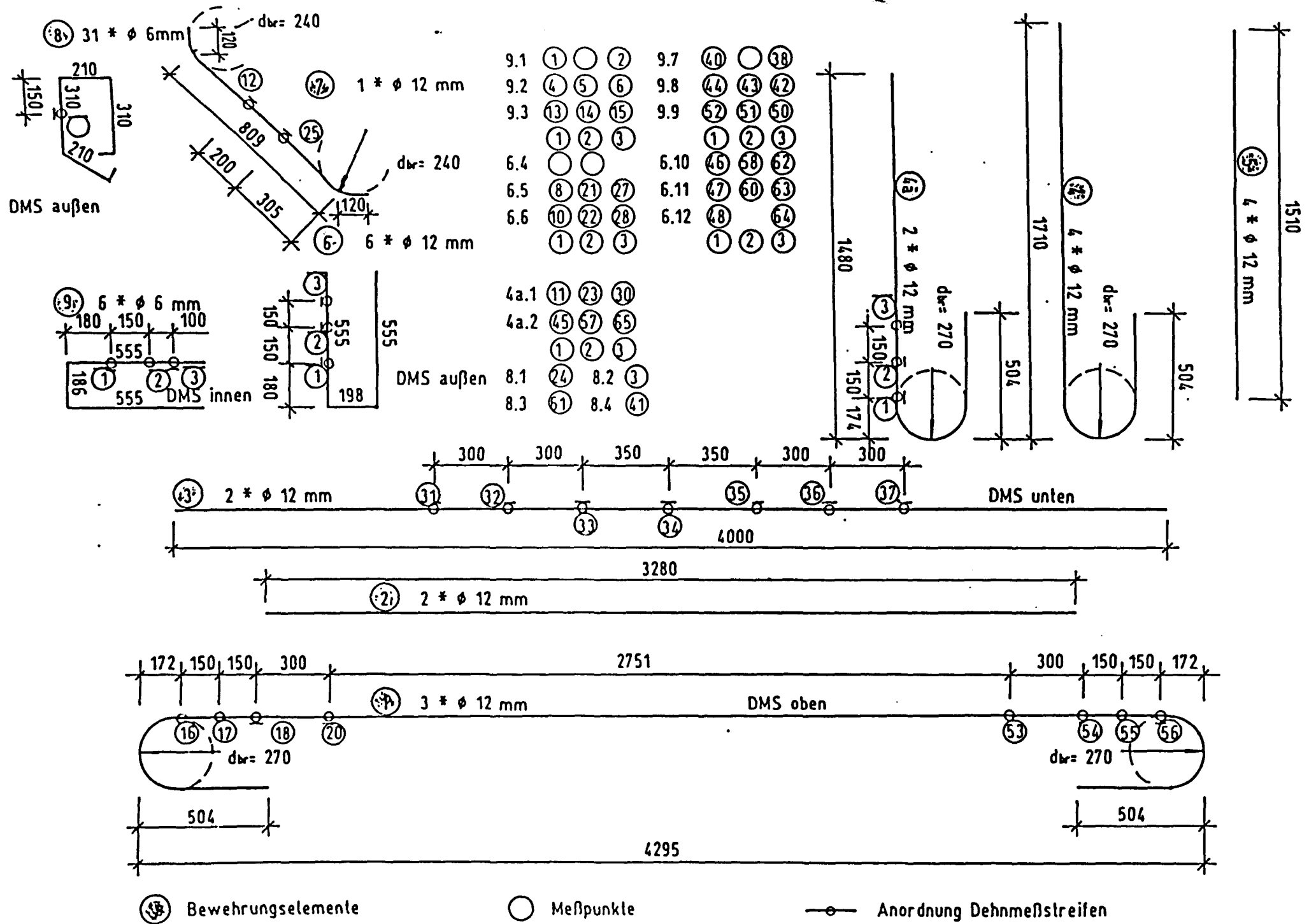
Das Brandverhalten von Rahmen-Ecken und Rahmenknoten bedarf der Untersuchung, insbesondere im Zusammenhang mit Momentenumlagerungen und entsprechenden Bewehrungsverminderungen im Bereich negativer Momente nach EC 2, die u.U. den bisher gesicherten Bereich erheblich überschreiten und das Brandverhalten beeinträchtigen.

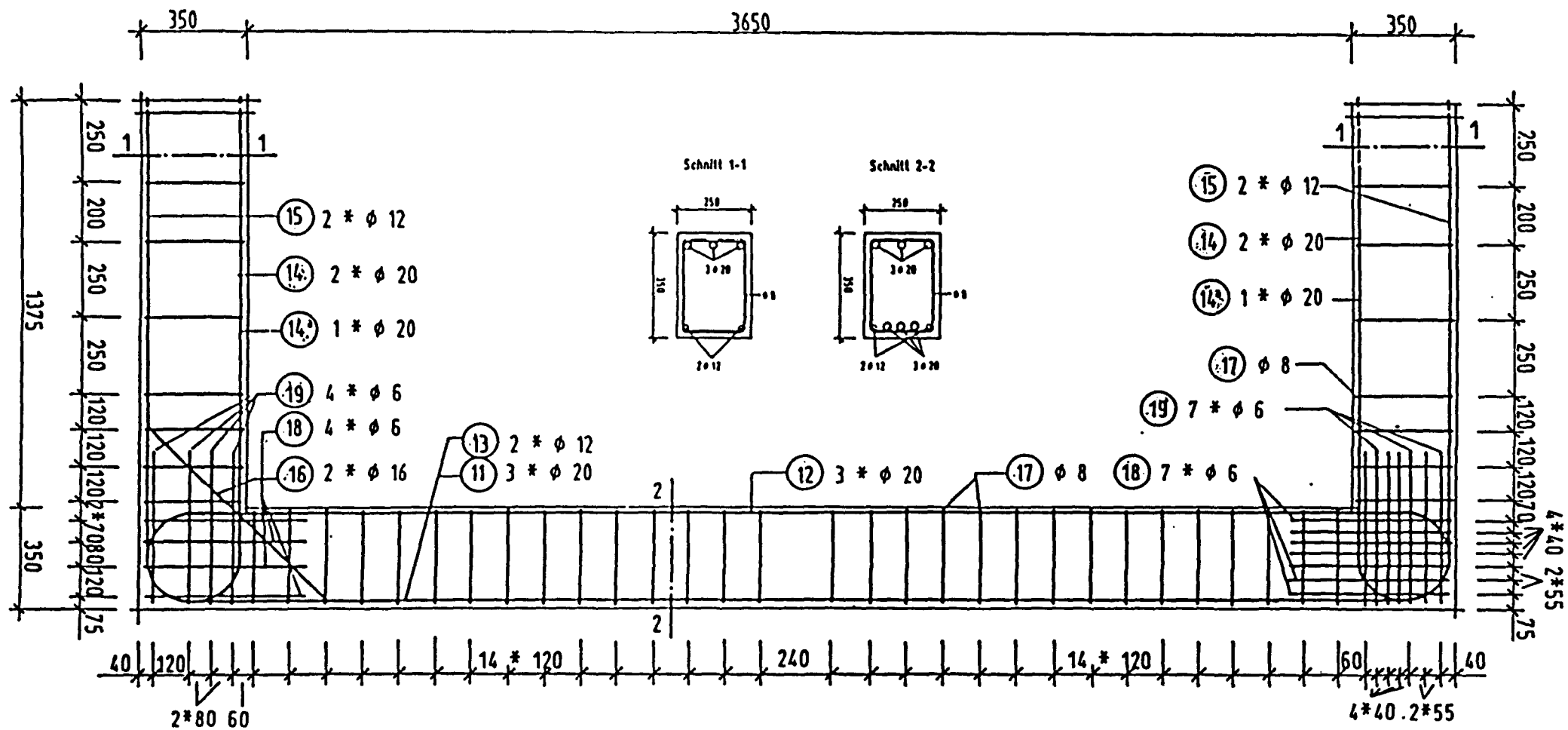
## ANHANG



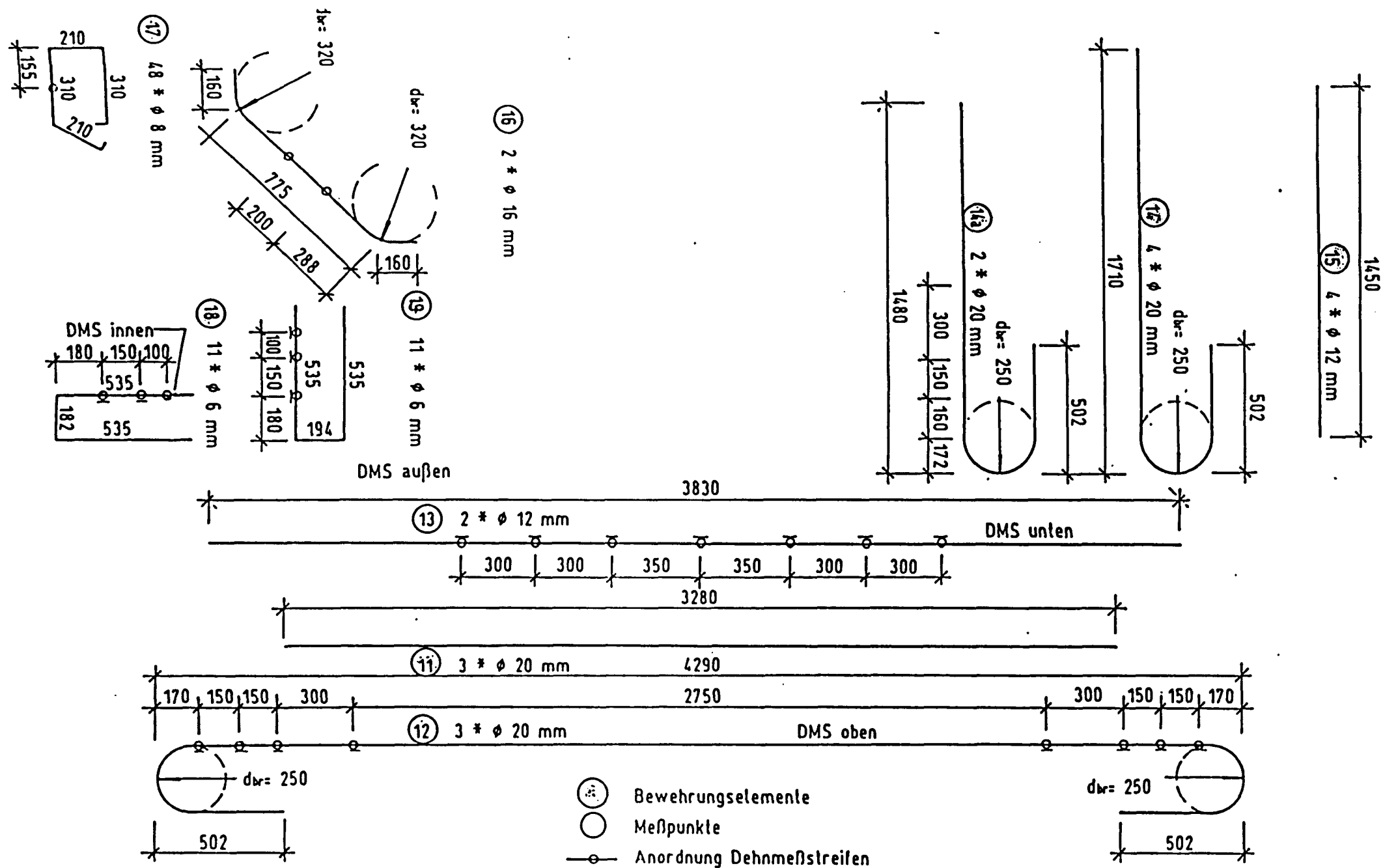
- Bewehrungspläne zu den Versuchen VR I bis VR VI - Anlagen 1.1 bis 6.2
- Graphische Darstellungen der gemessenen Stahl- und Betonverformungen in unmittelbarer Nähe der Riegelanschnitte - Anlagen 11.10 bis 36.41
- Auswertung aller bis 1989 erreichbaren Rahmeneck- und Knotenversuche in normierter Form - Anlagen A 1 bis A 12 und  $\overline{A\ 1}$  bis  $\overline{A\ 30}$



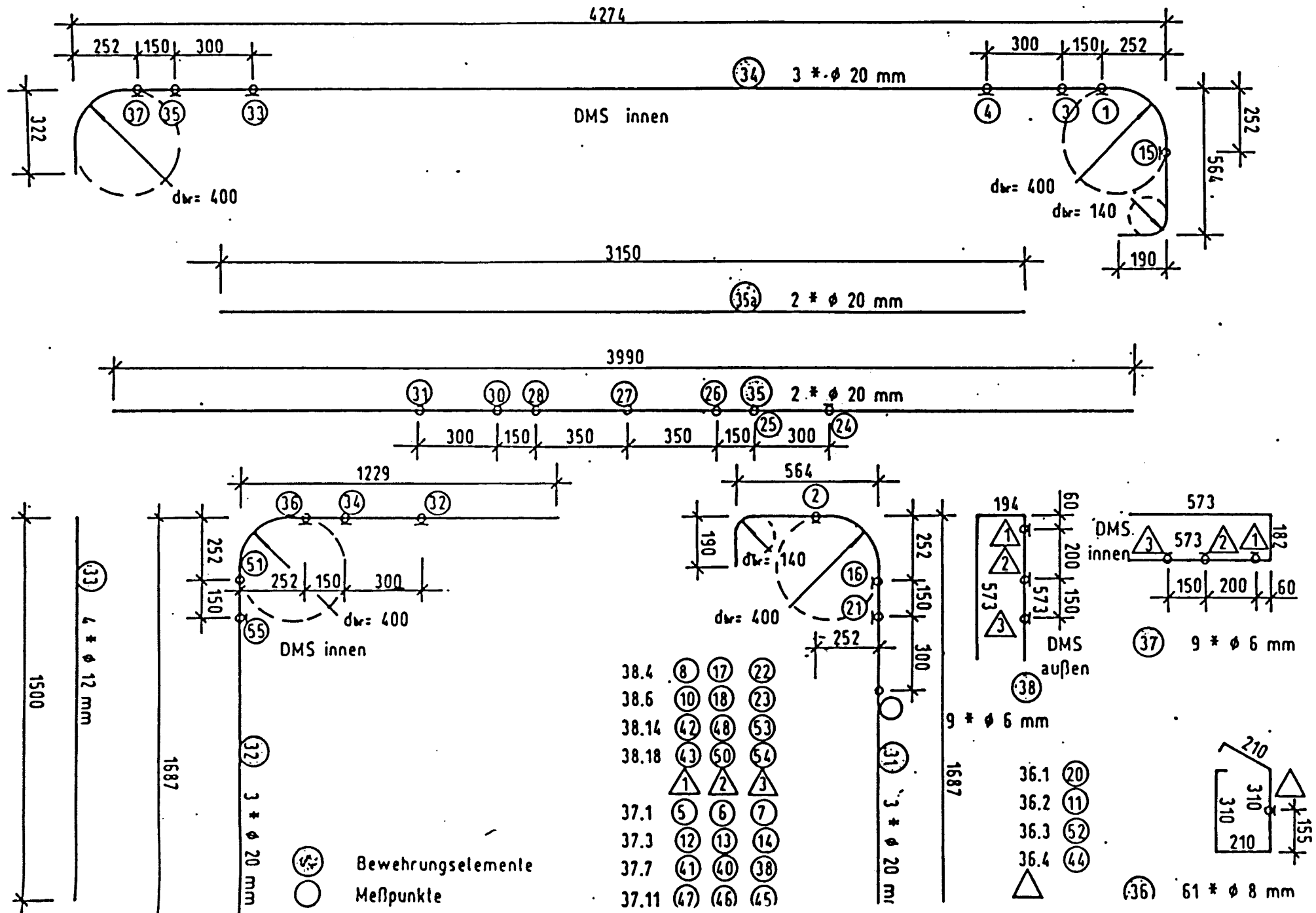


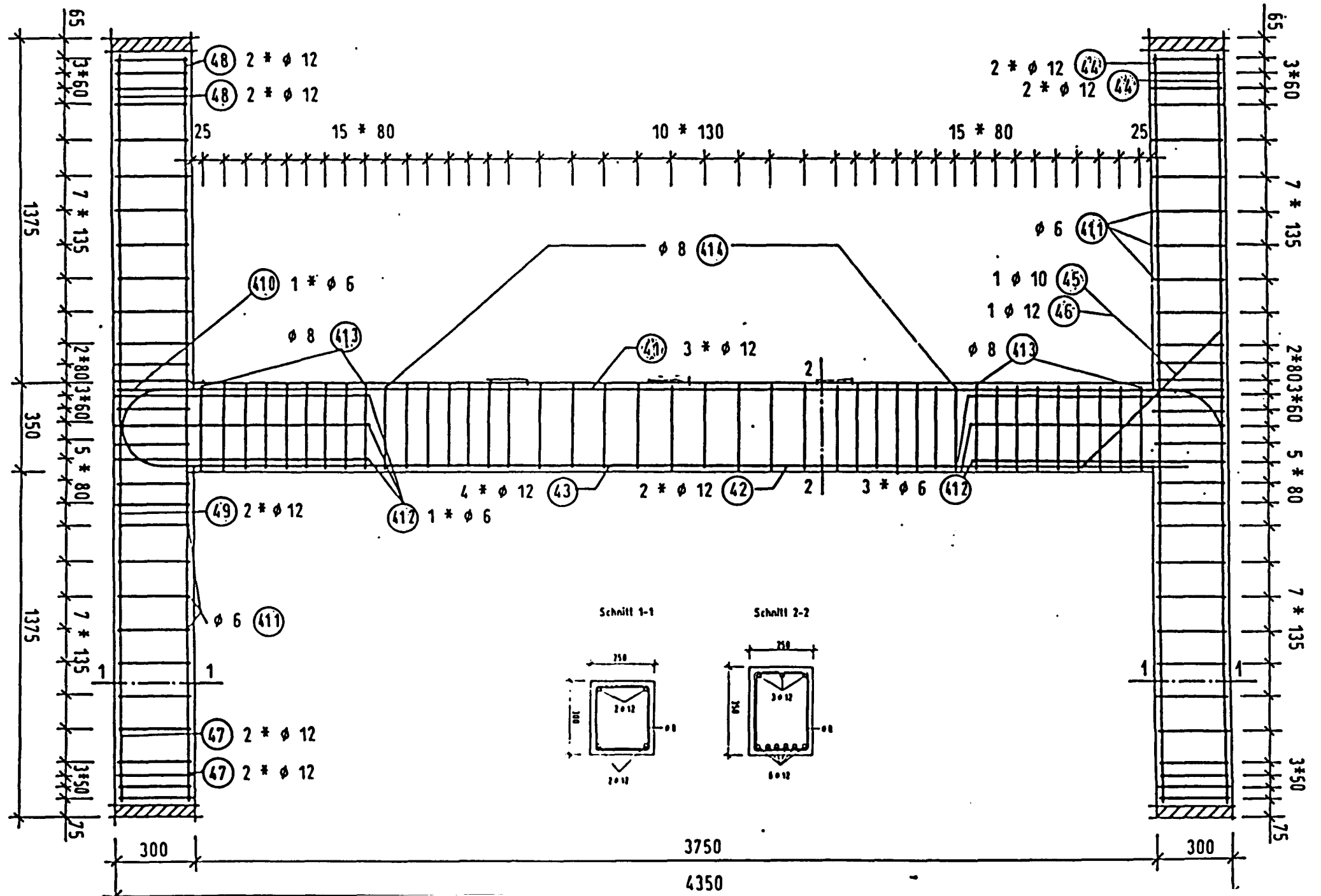




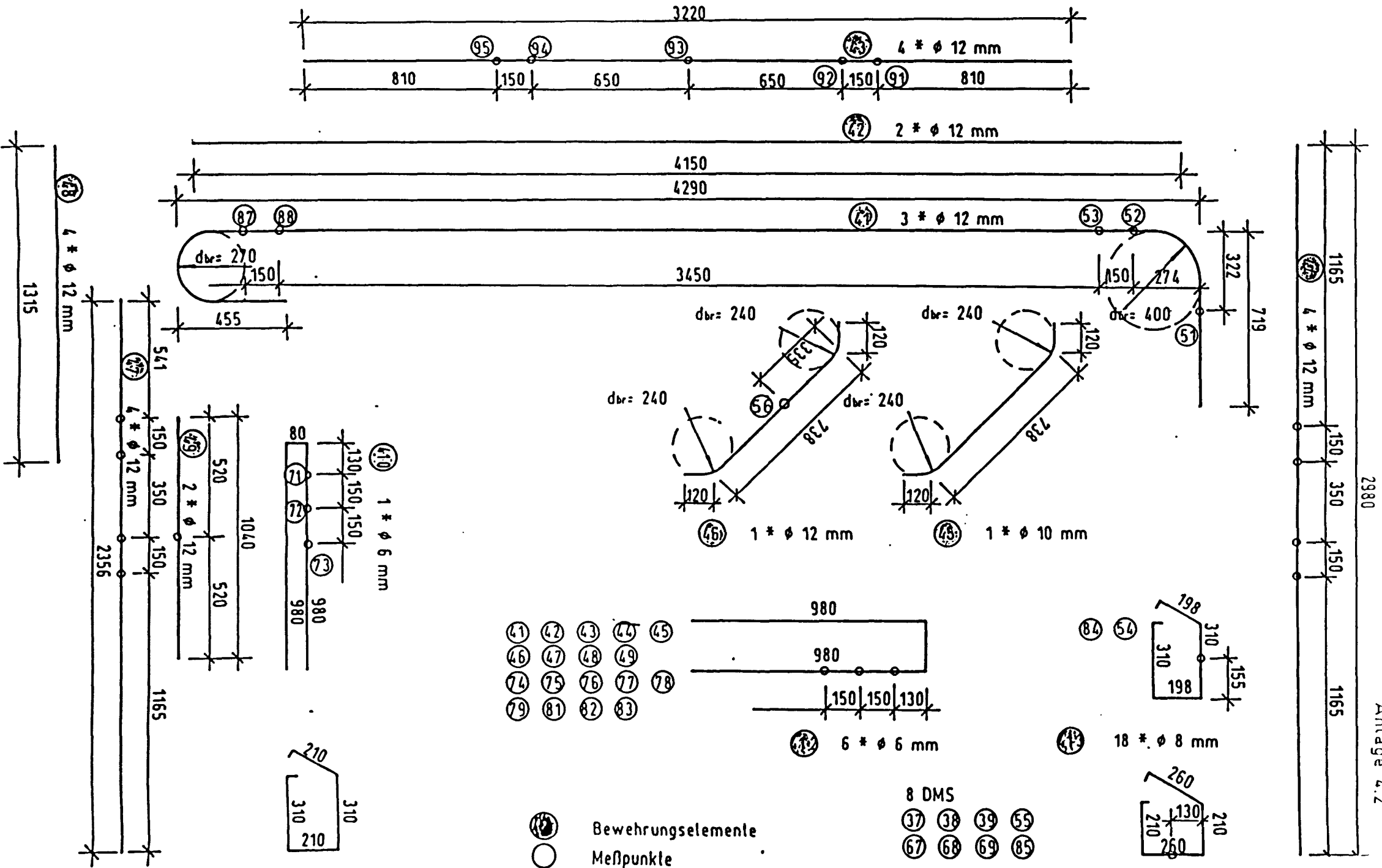


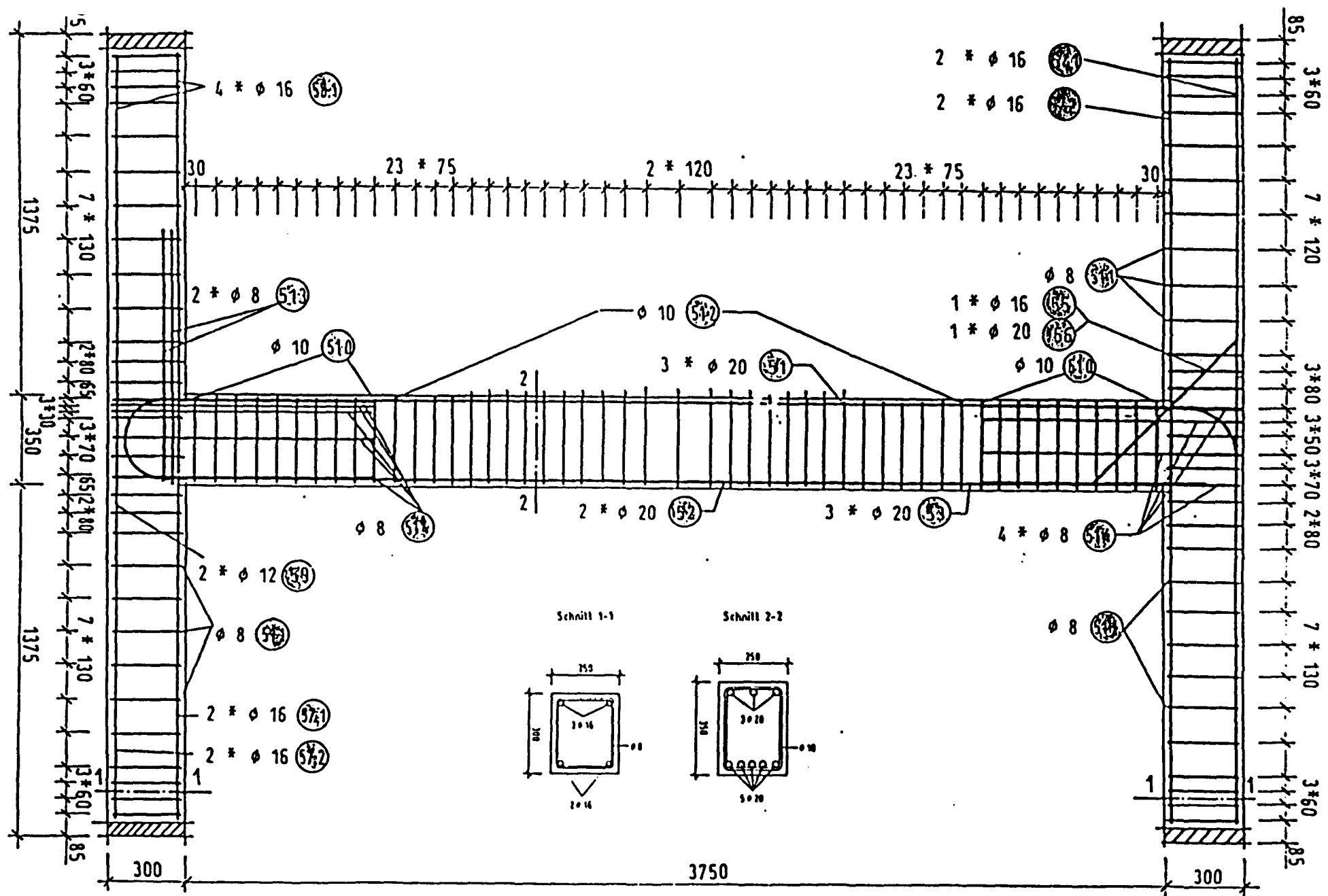




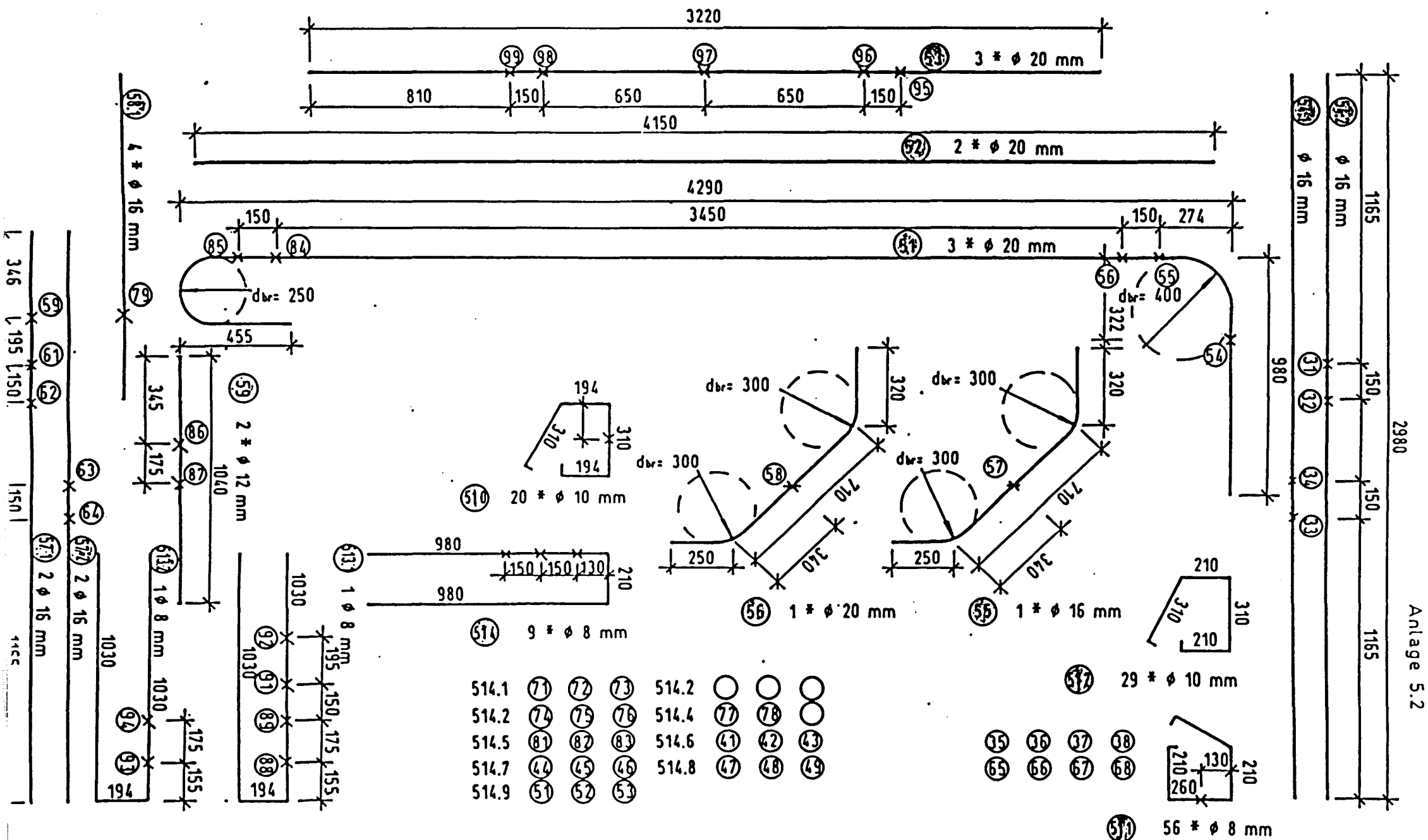


Anlage 4.1



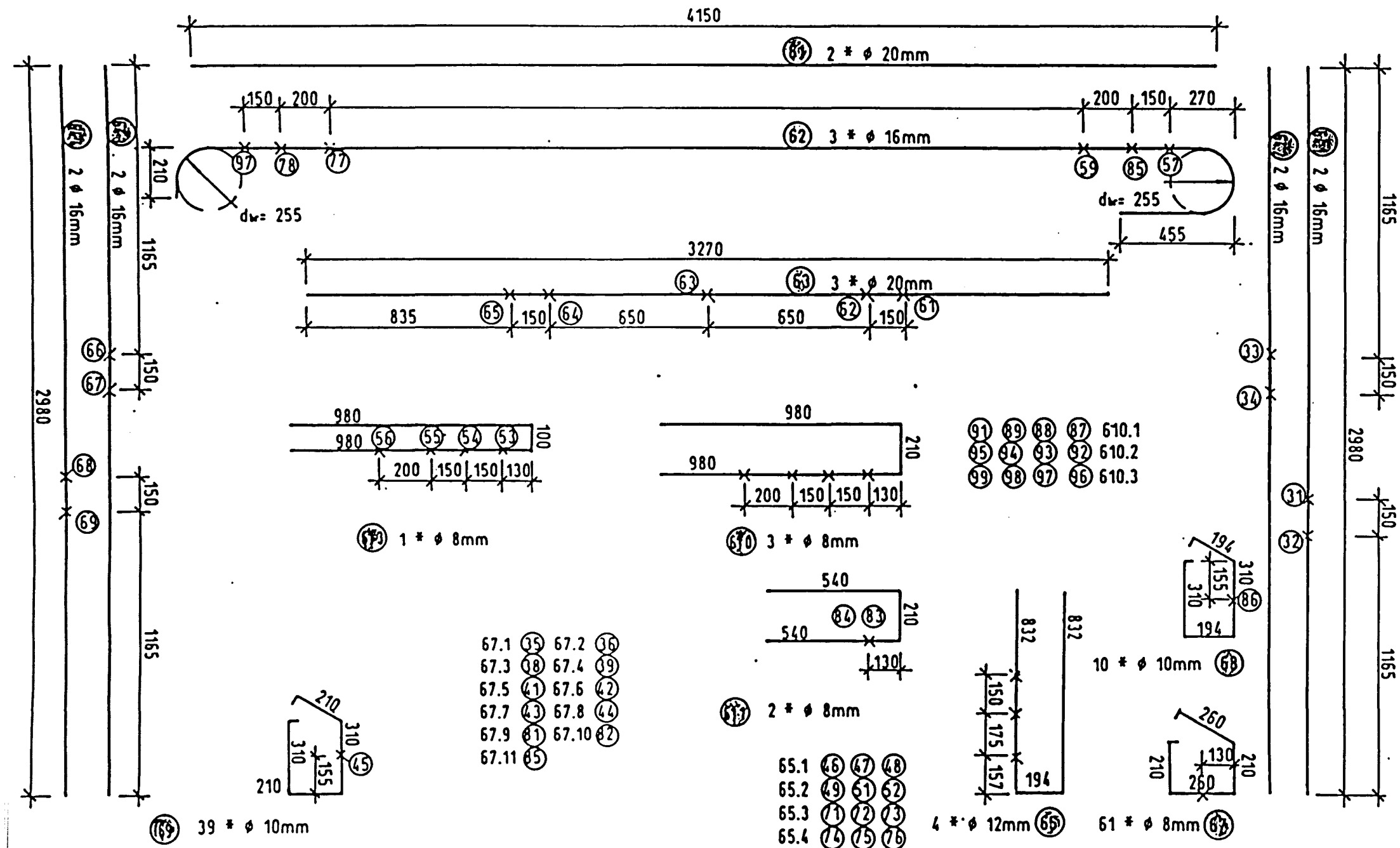


Anlage 5.1

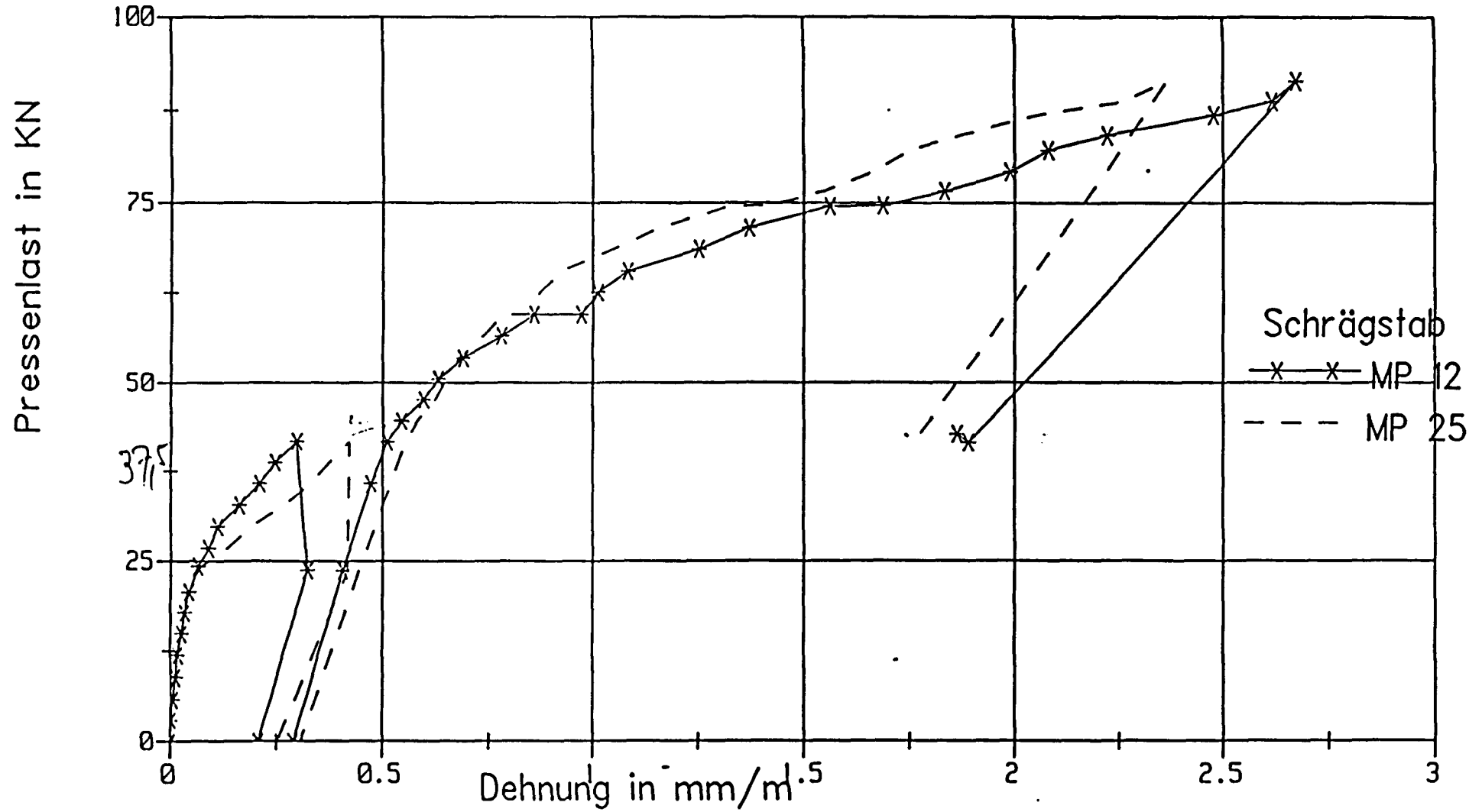
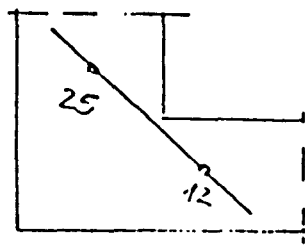




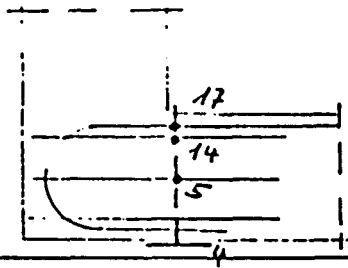




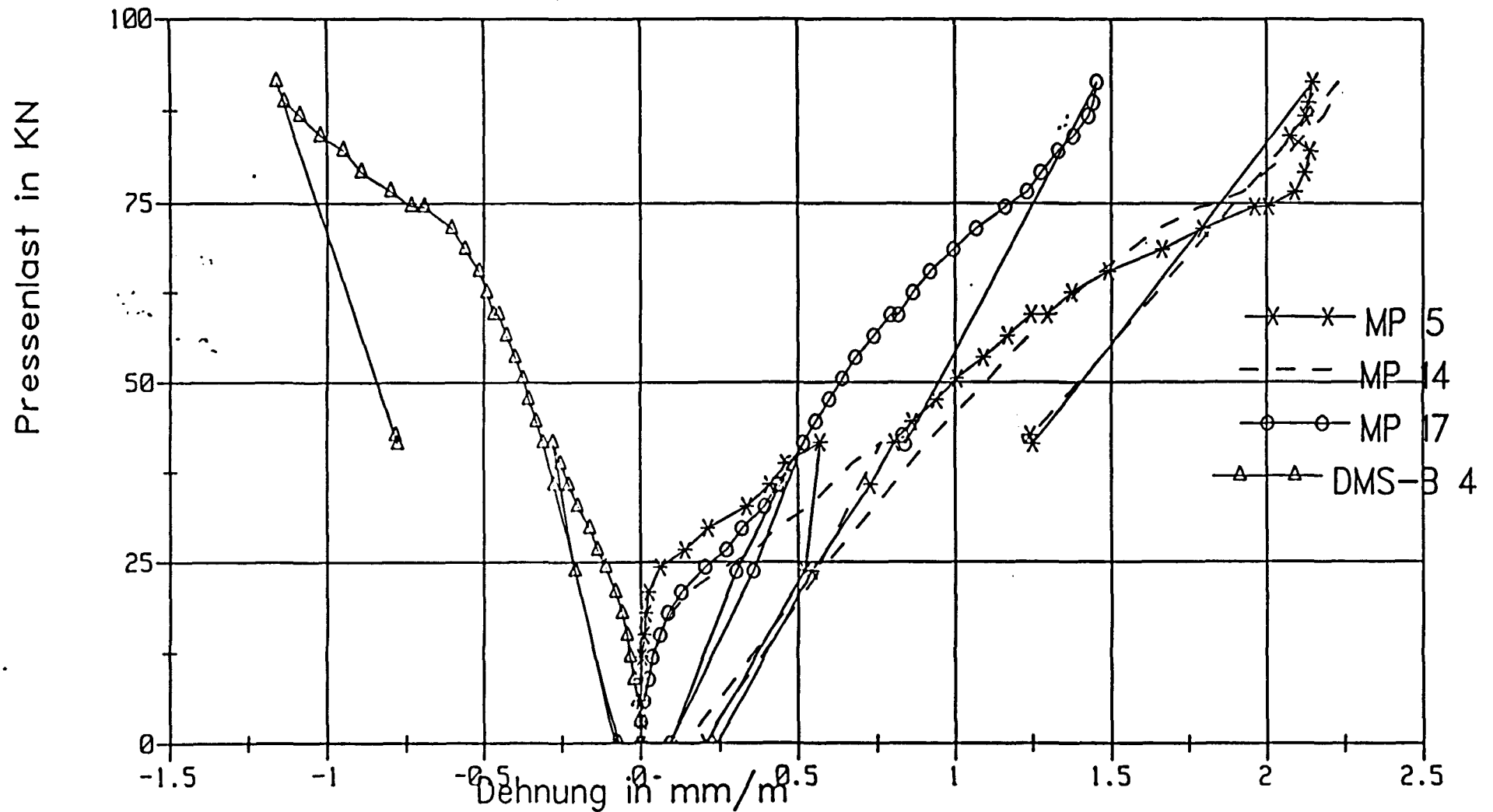
**Graphische Darstellungen der gemessenen Stahl - und Beton-  
verformungen in unmittelbarer Nähe der Riegelanschnitte**

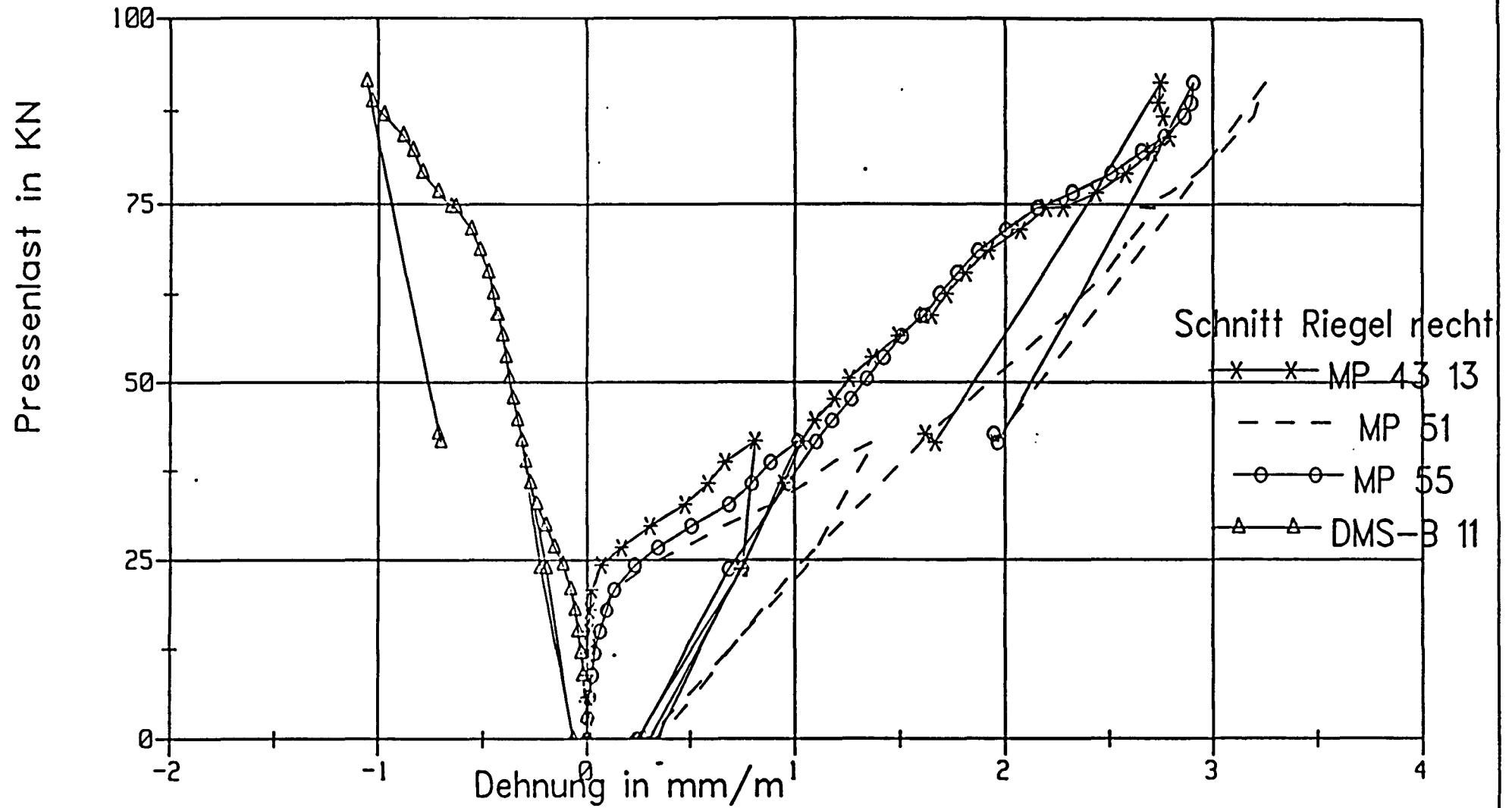
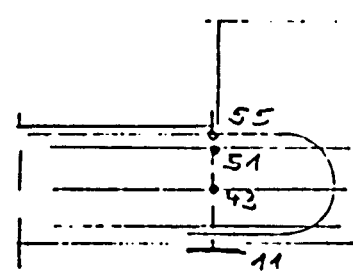


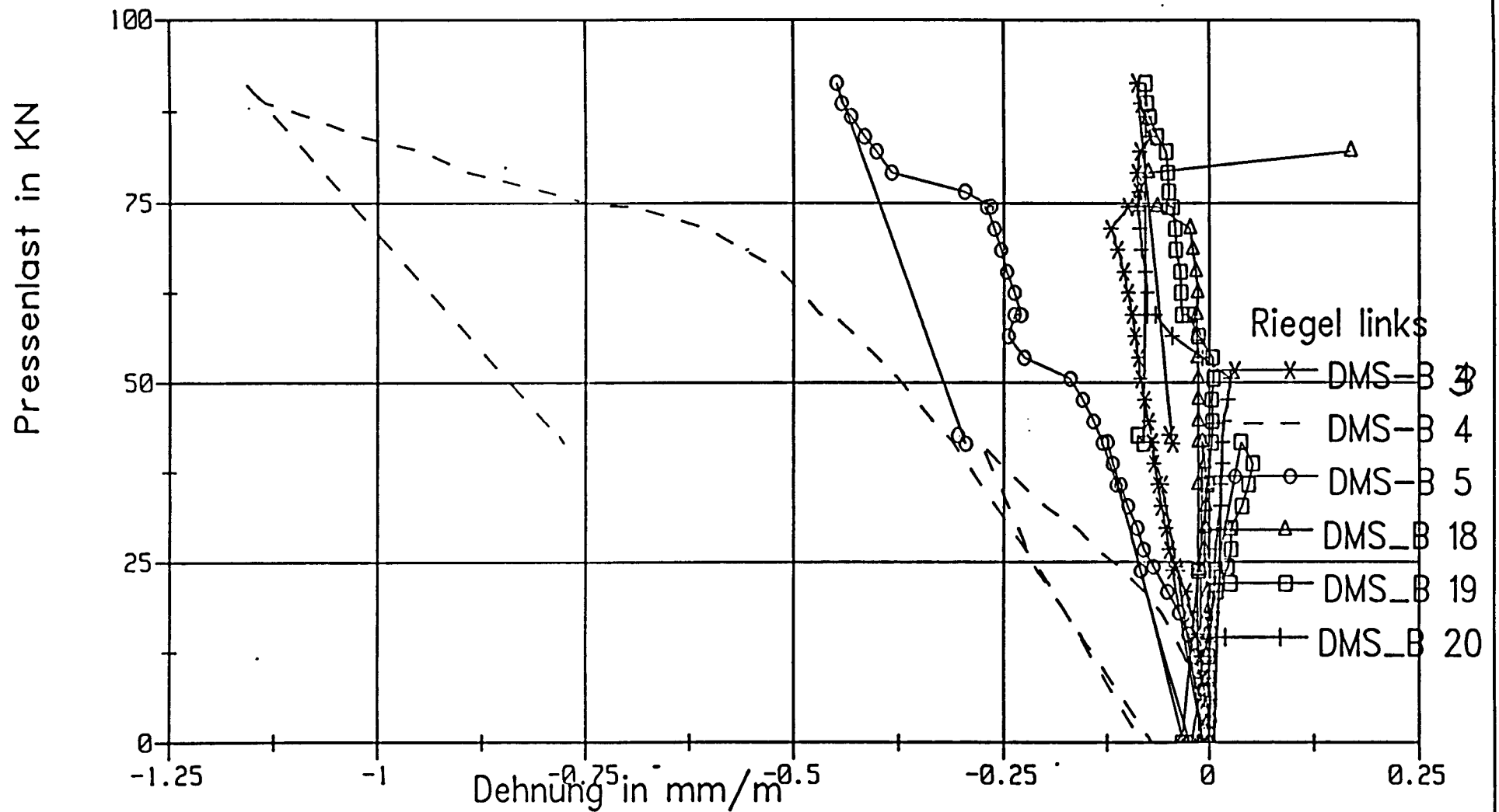
Schnitt Riegel links

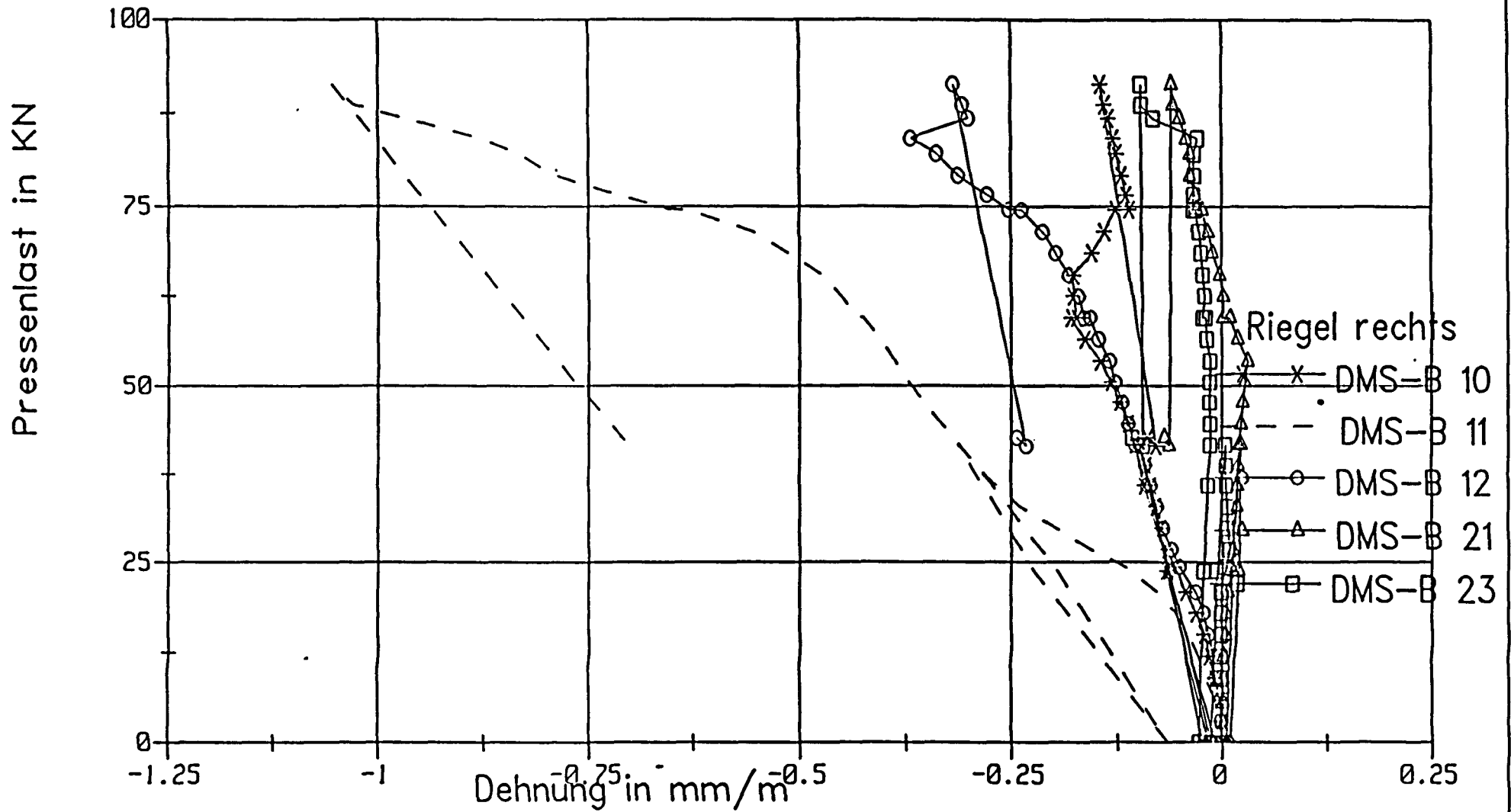


Versuchsrahmen I

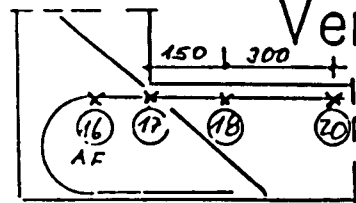




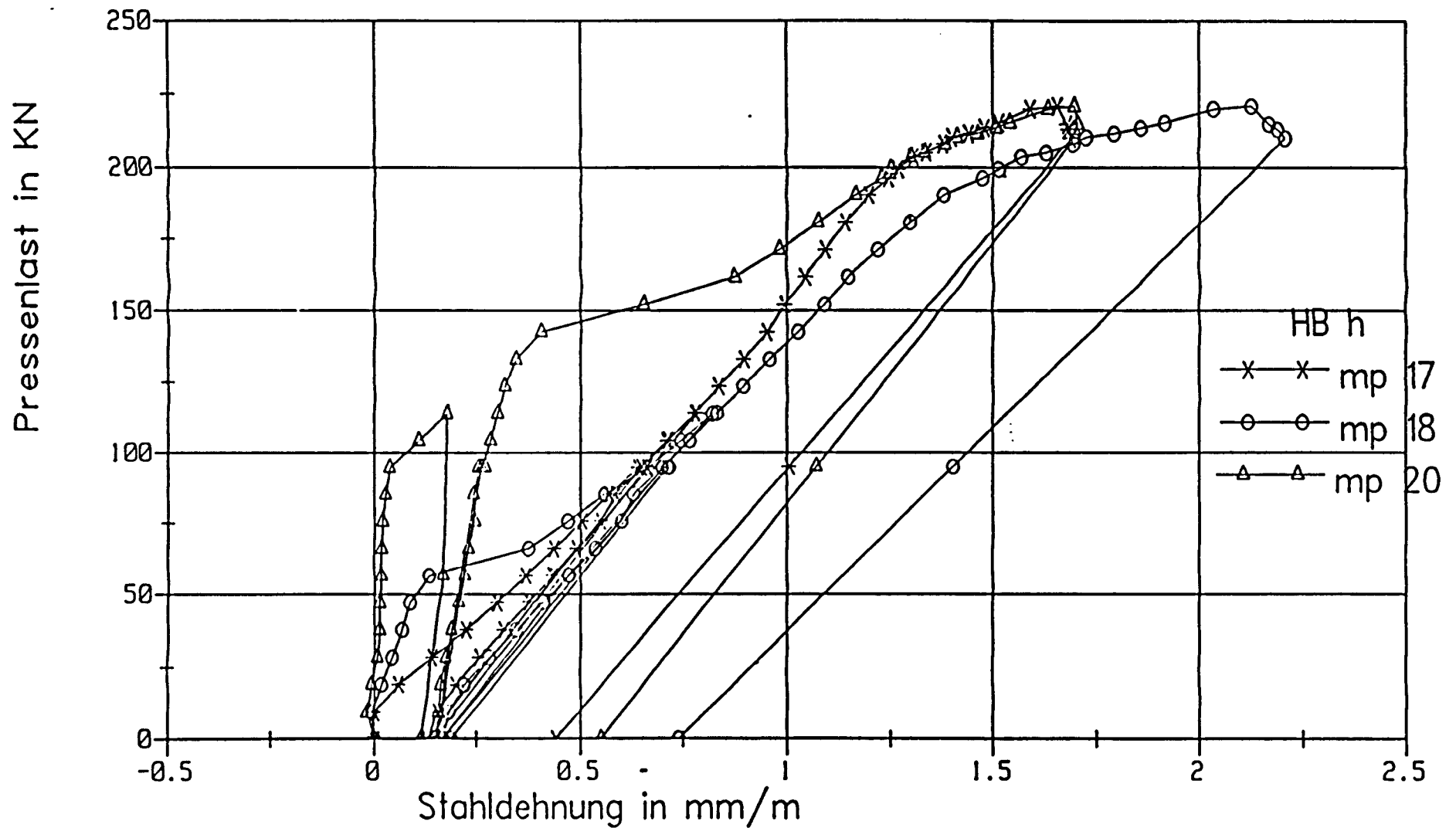




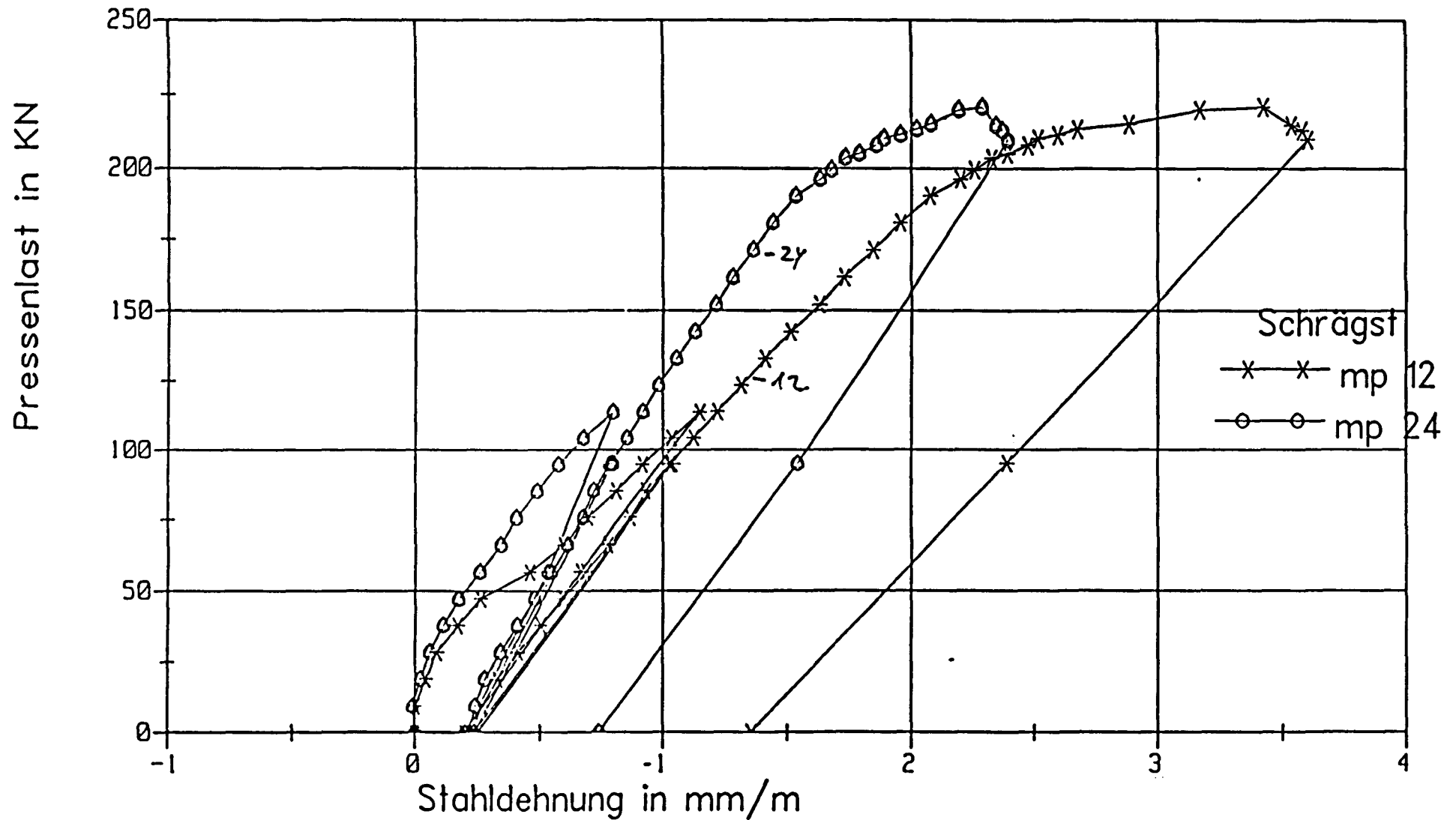
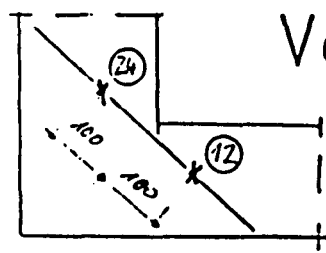
Dehnungen Rahmenknoten links



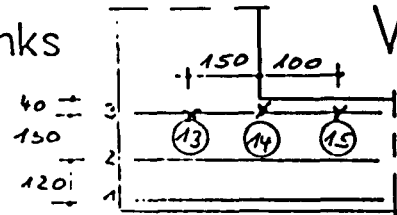
Versuchsrahmen II



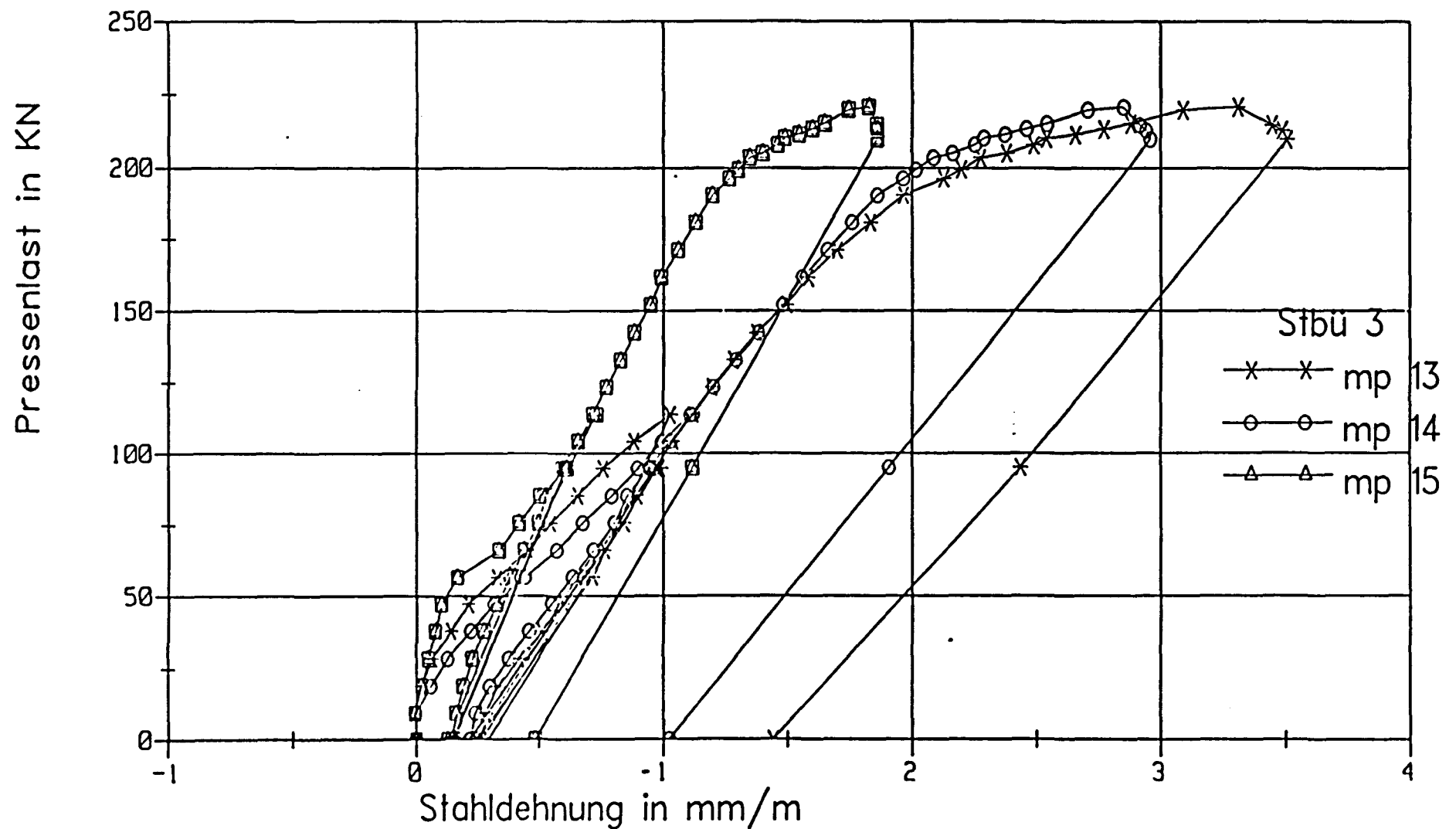


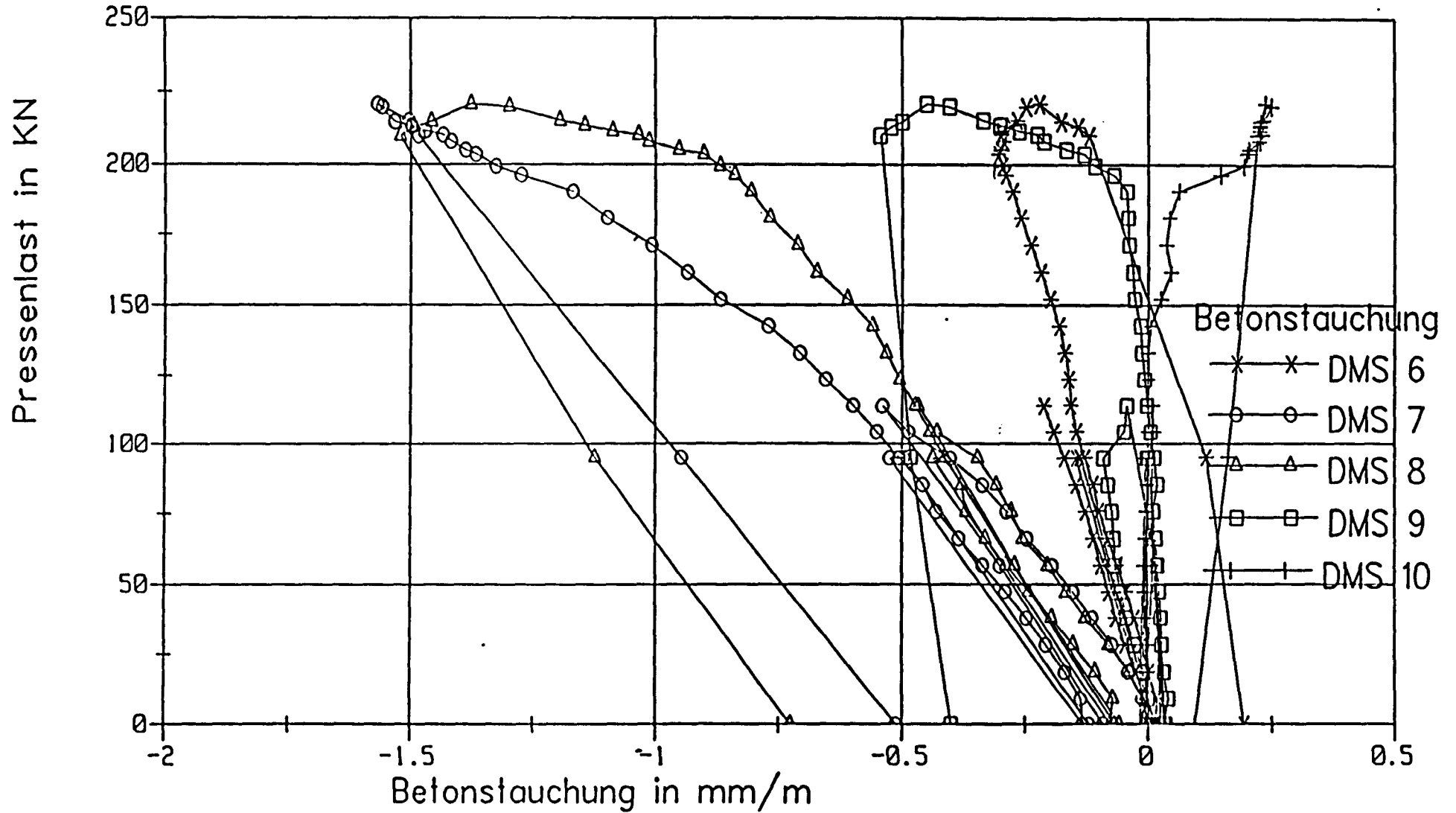
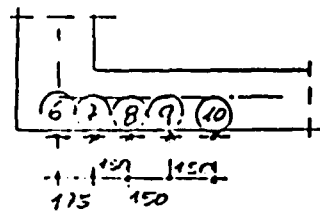


Dehnungen Rahmenknoten links

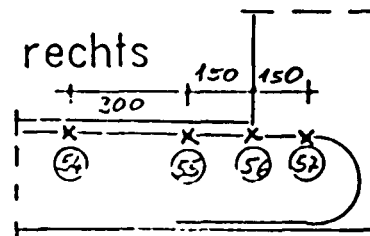


Versuchsrahmen II

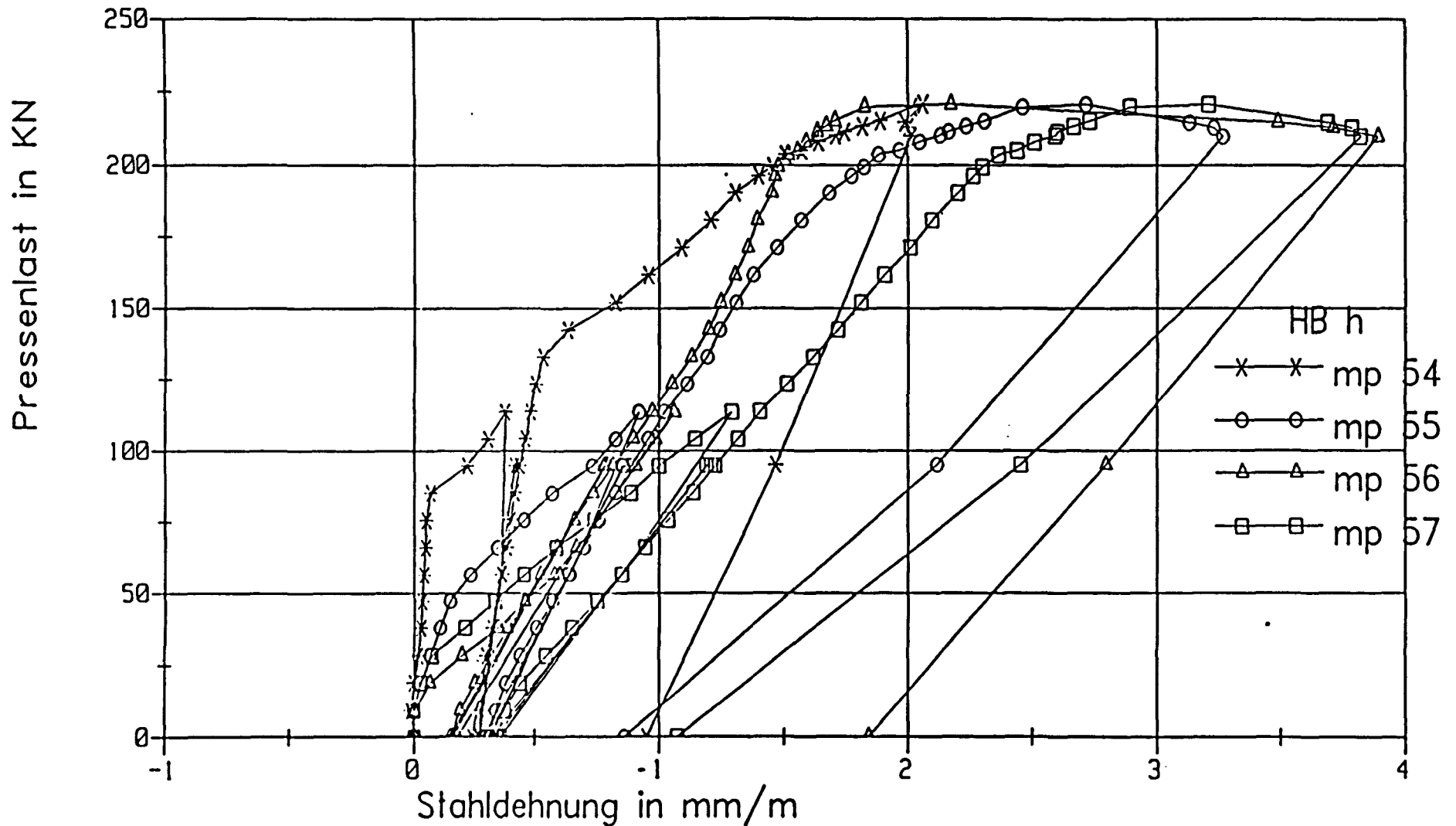


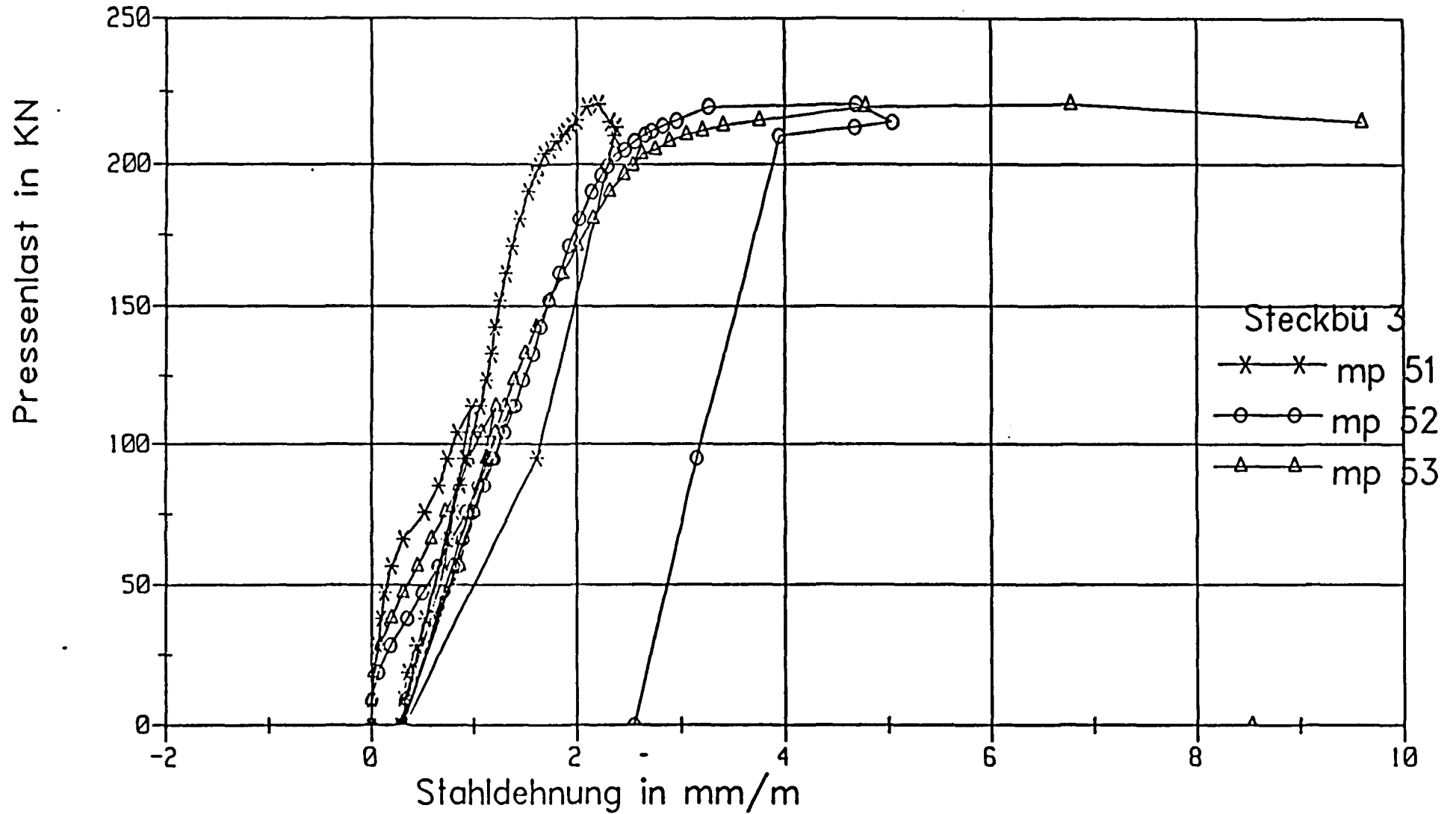
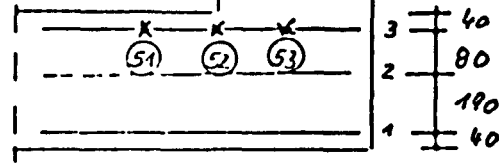


Dehnungen Rahmenknoten rechts

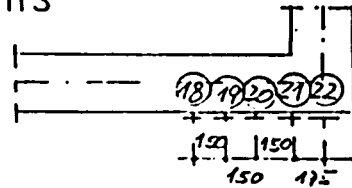


Versuchsrahmen II

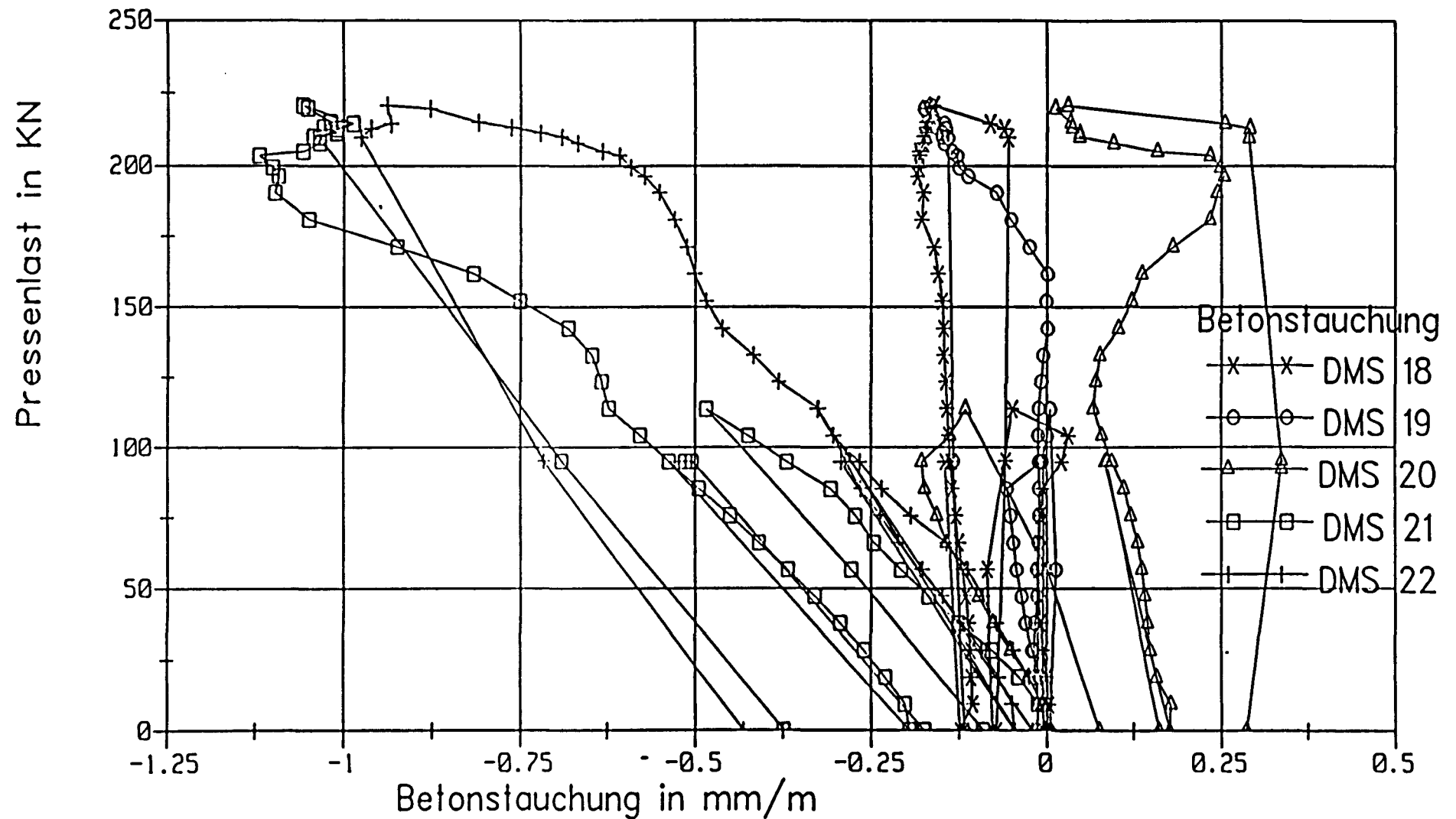


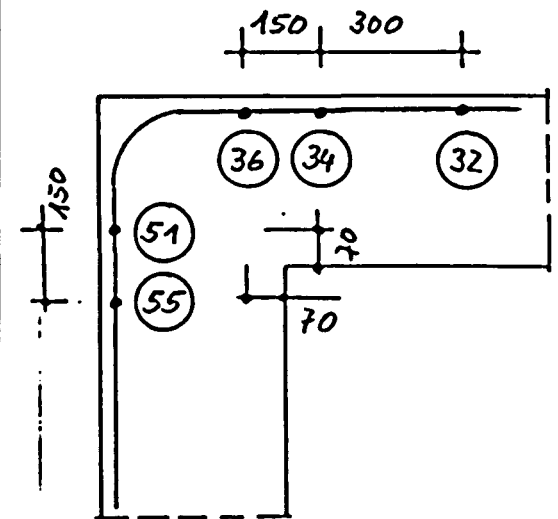
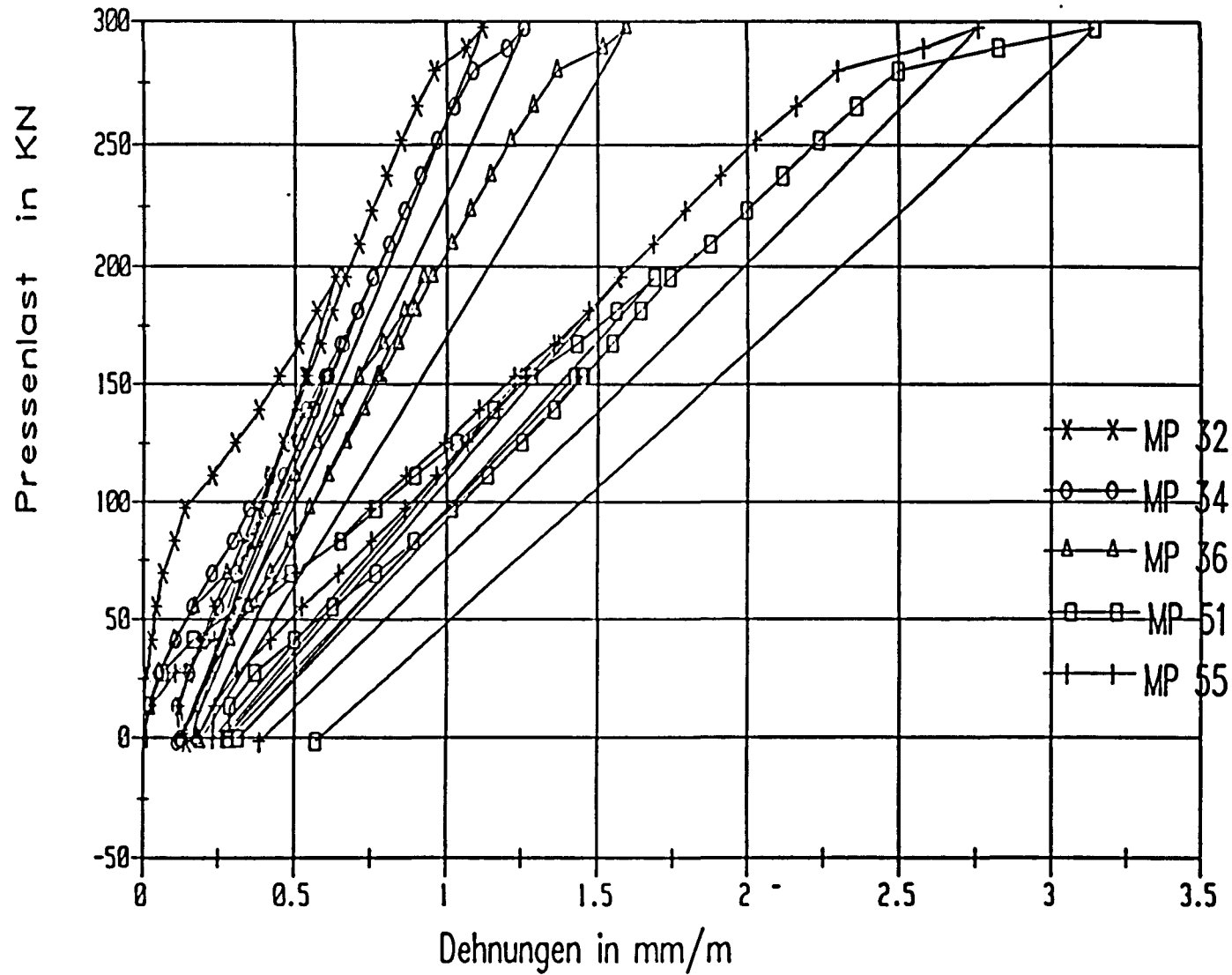


Betonstauchung Riegel rechts



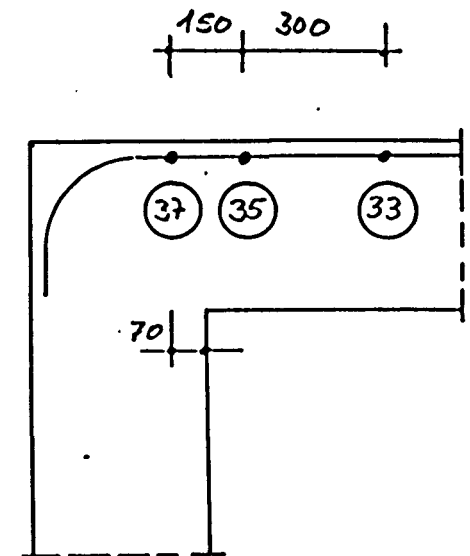
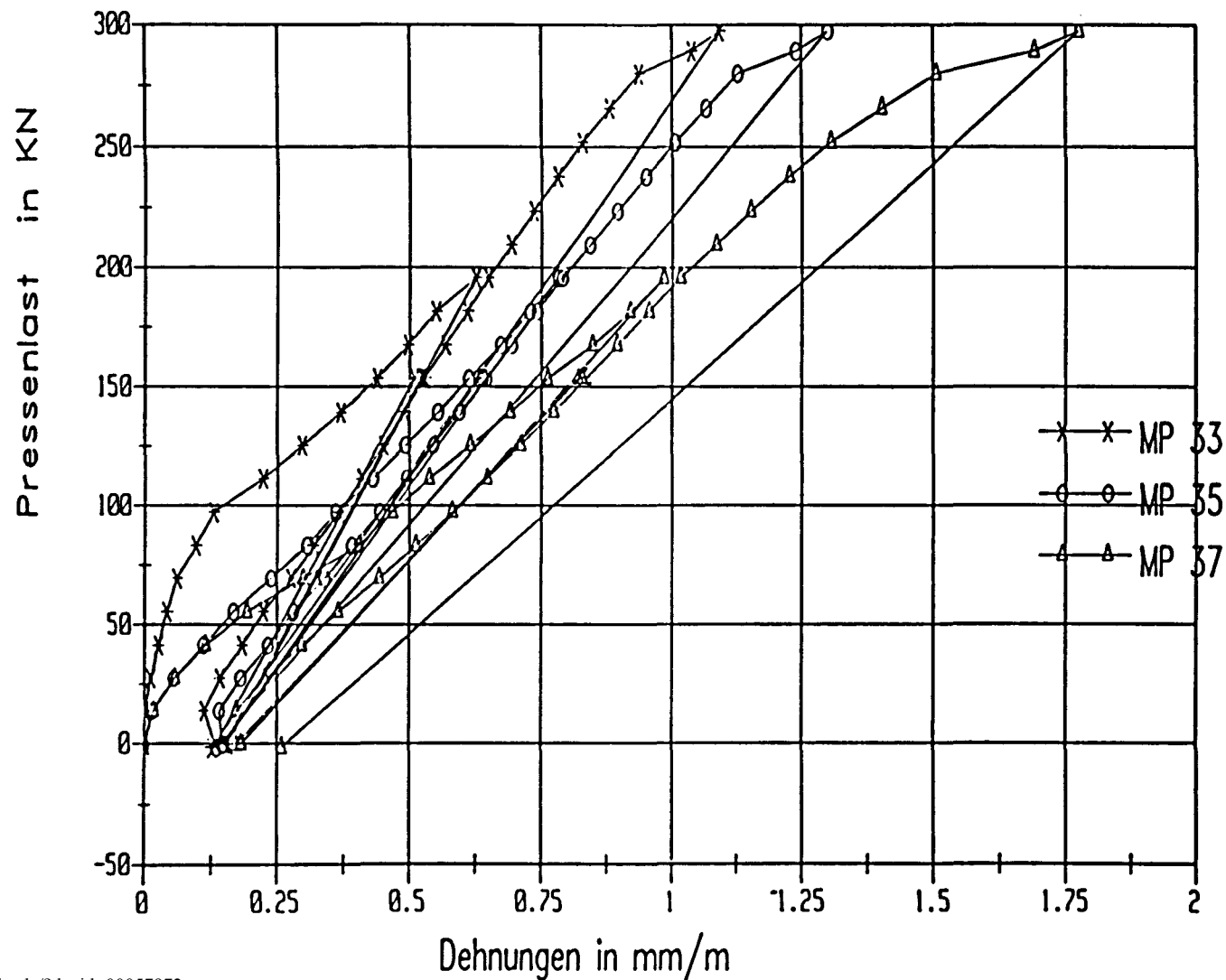
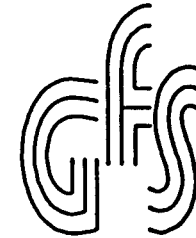
Versuchsrahmen II



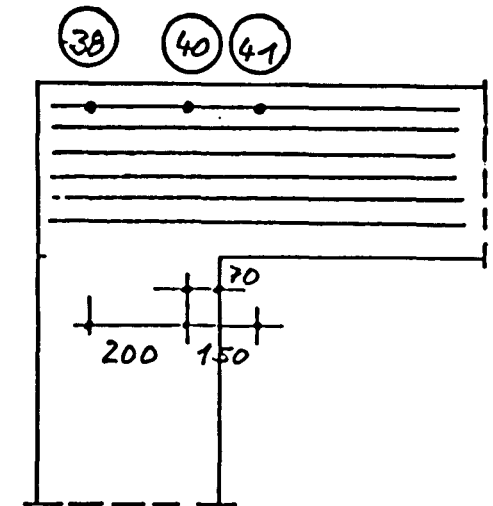
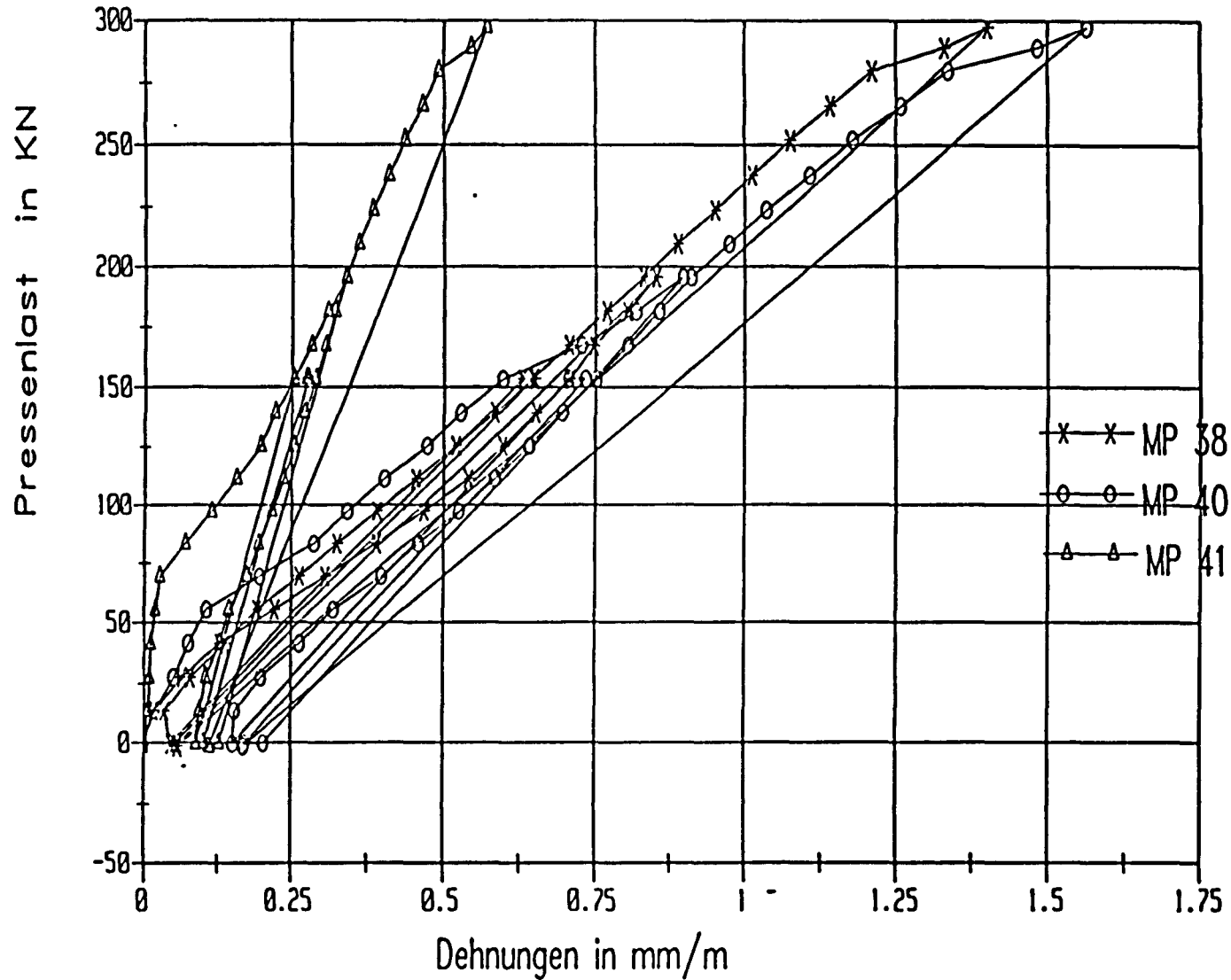


HB oben li

# Versuchsrahmen III

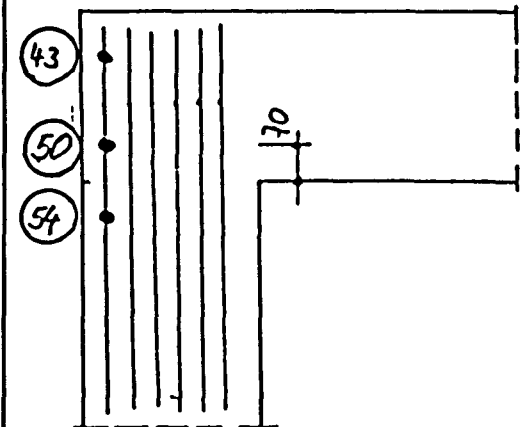
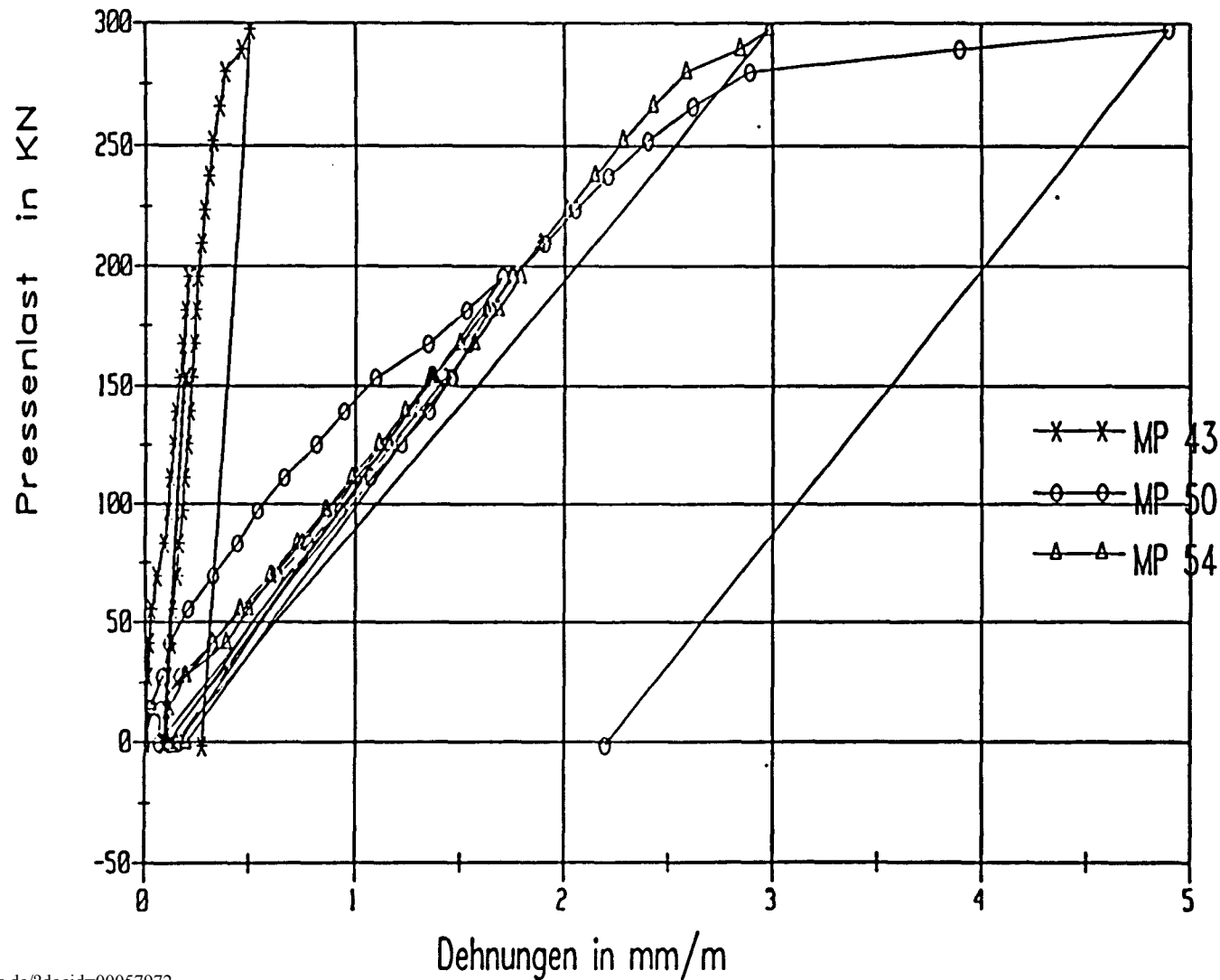


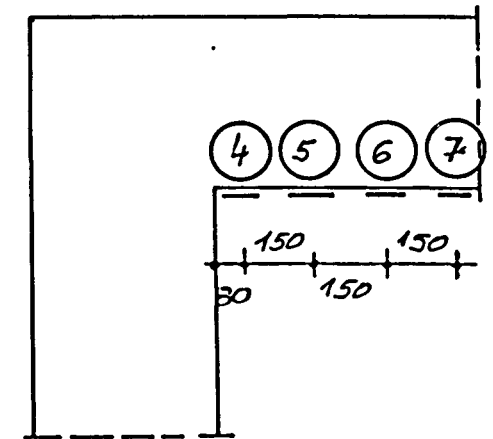
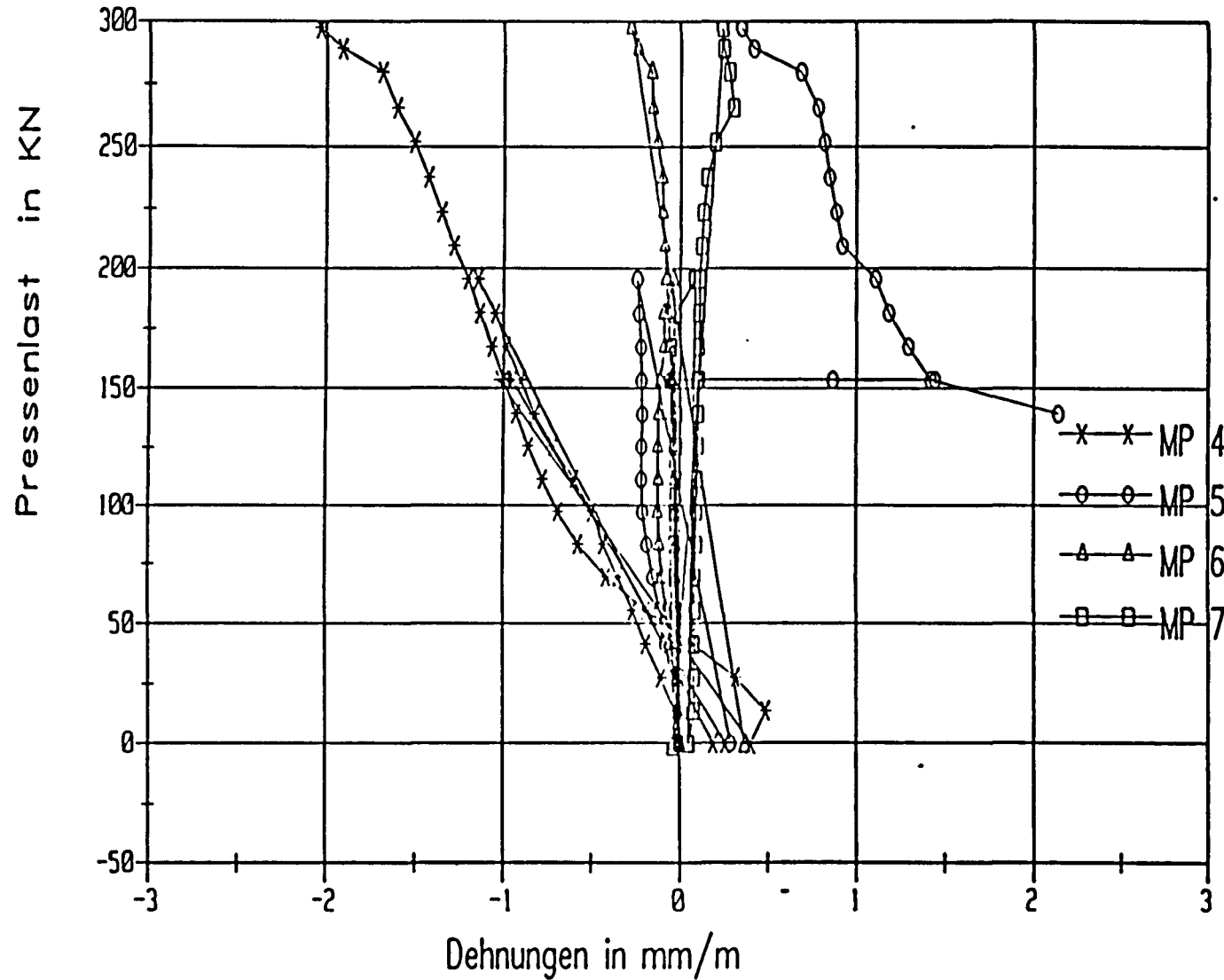




Steckbügel

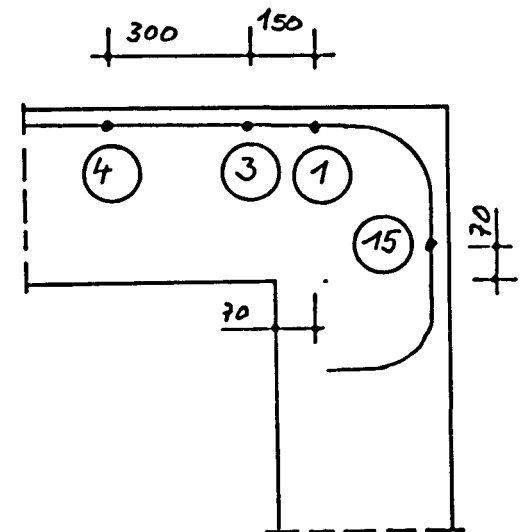
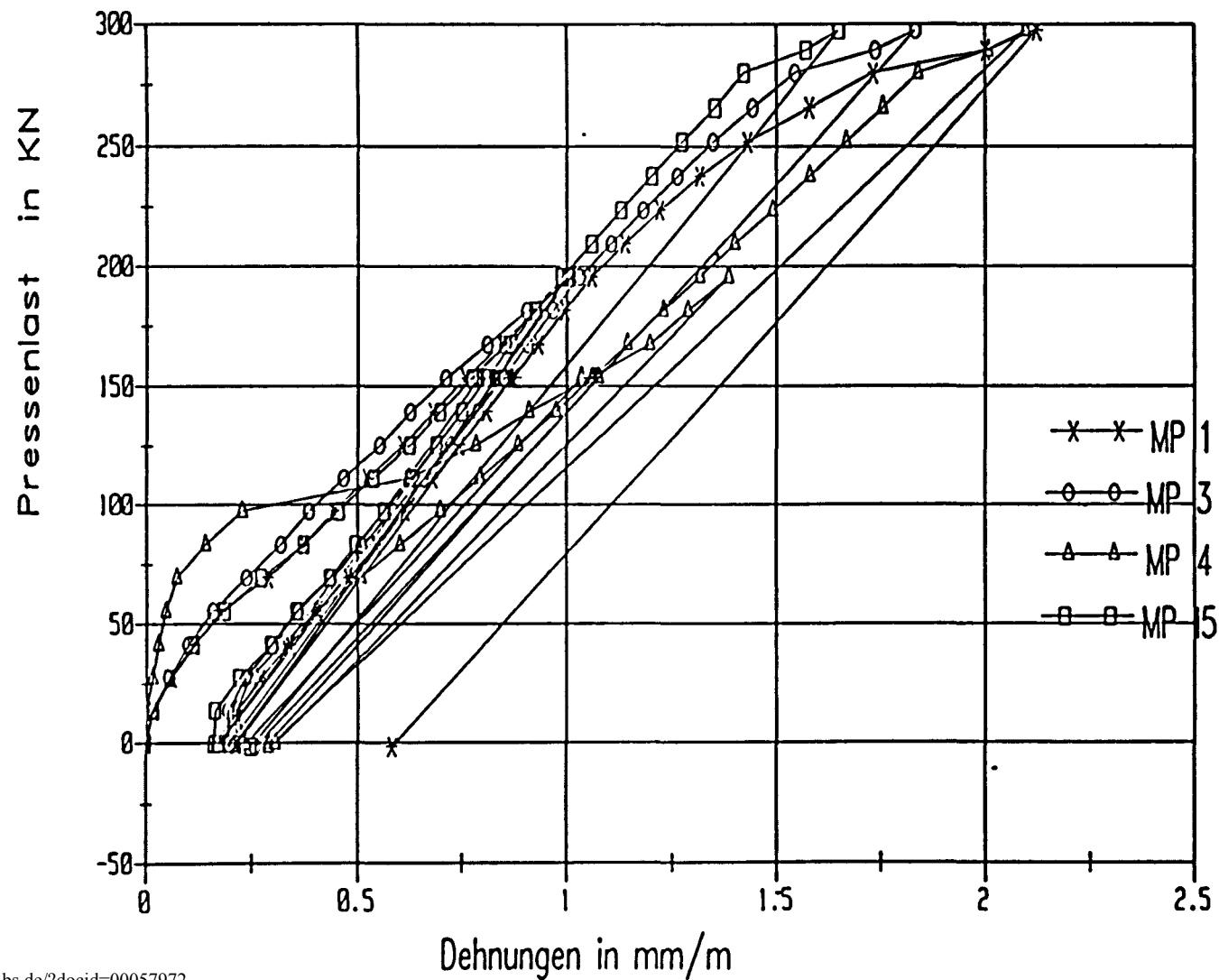
# Versuchsrahmen III

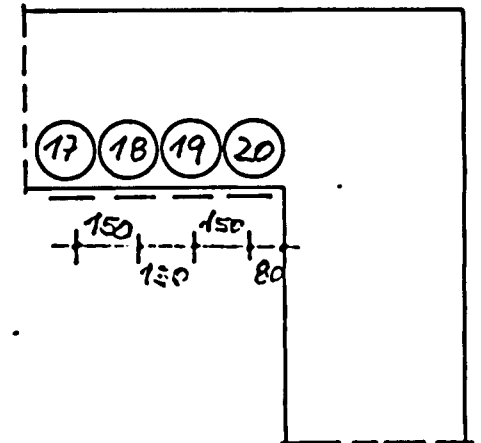
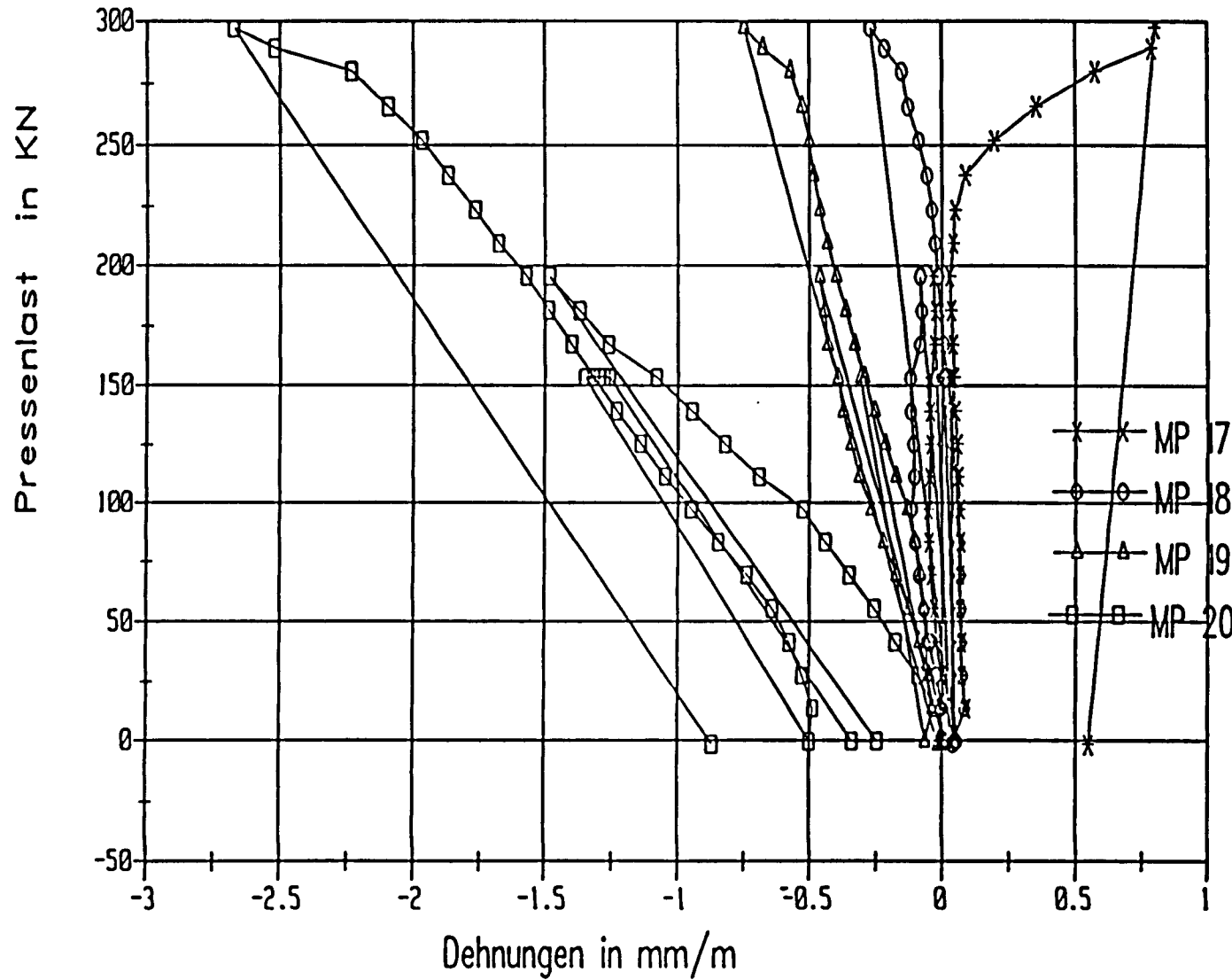


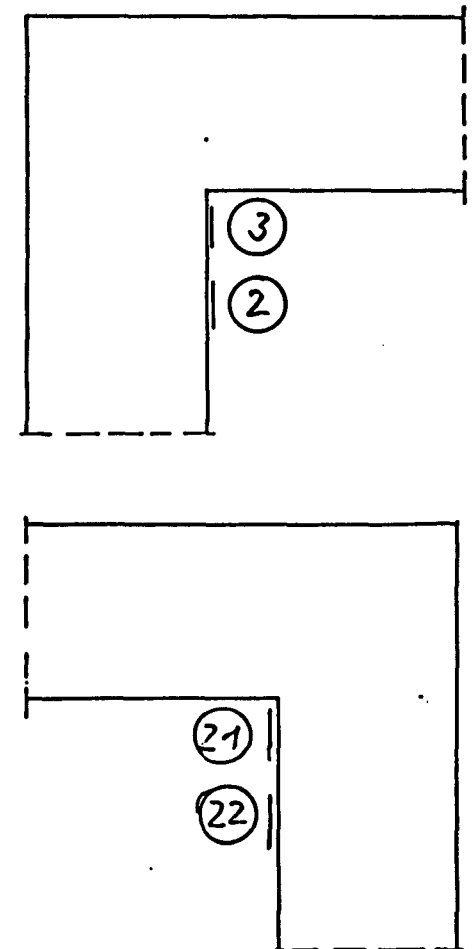
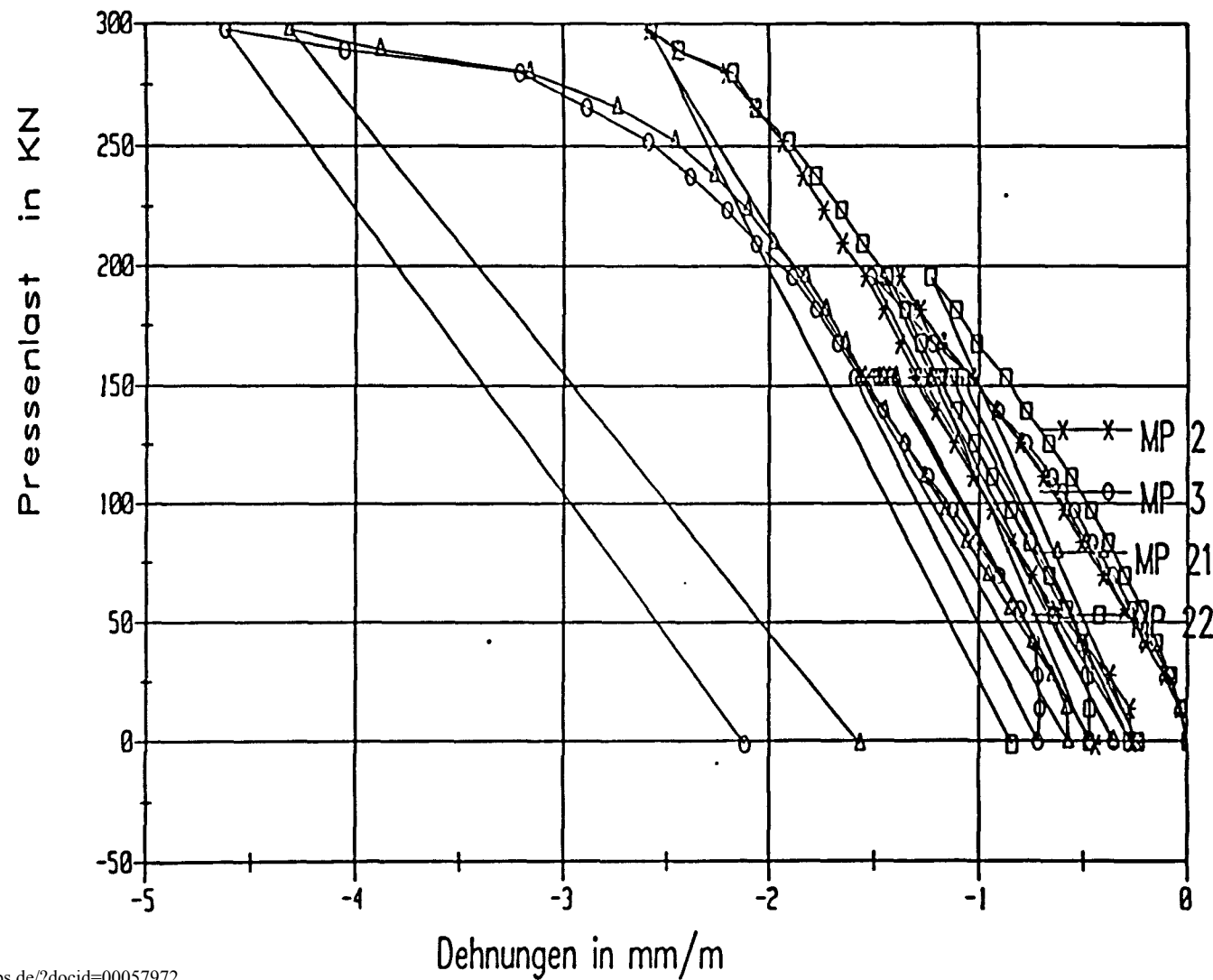


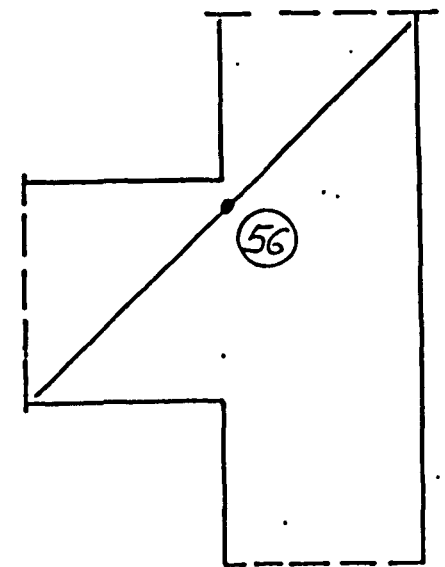
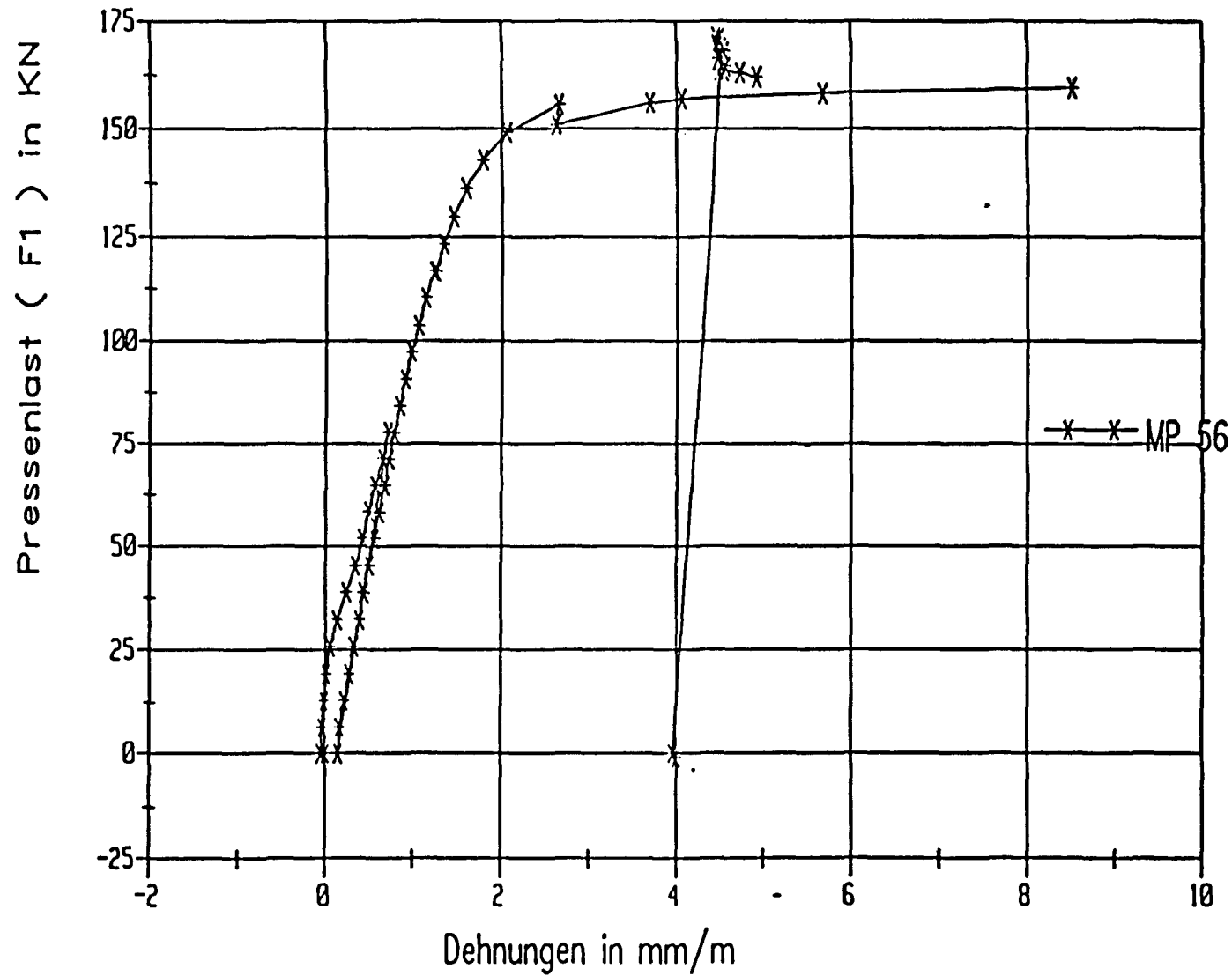
HB oben re

# Versuchsrahmen III



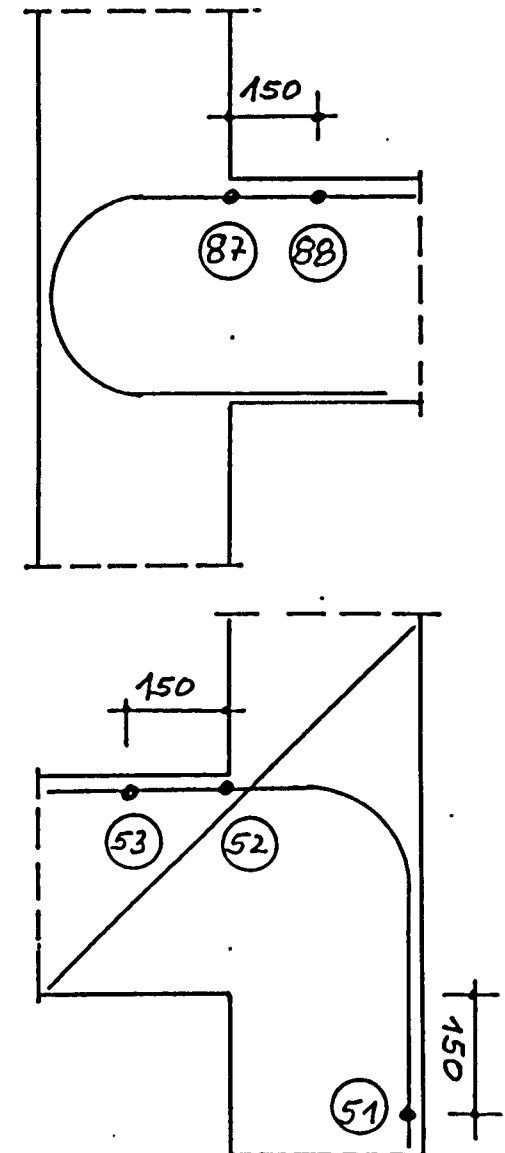
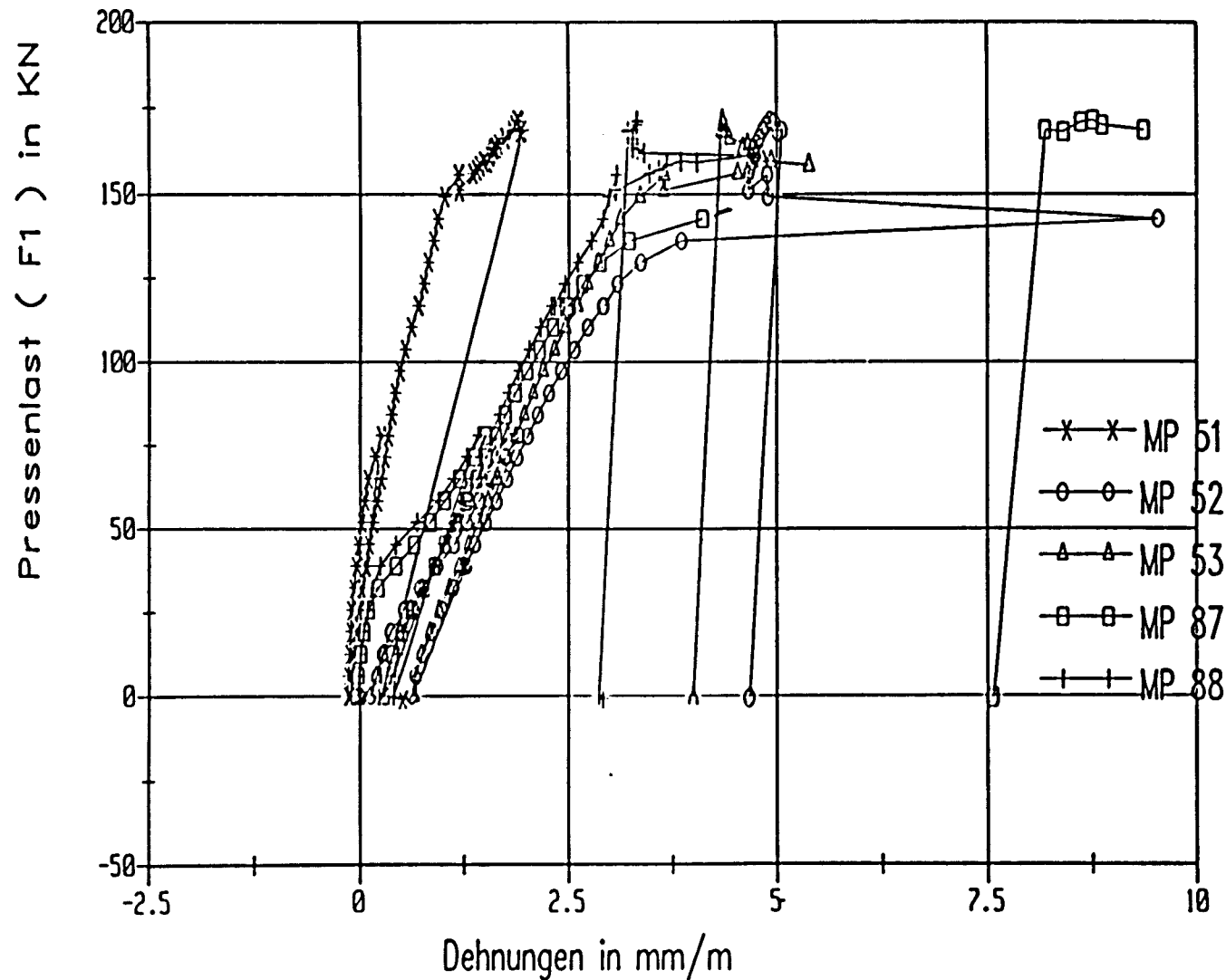




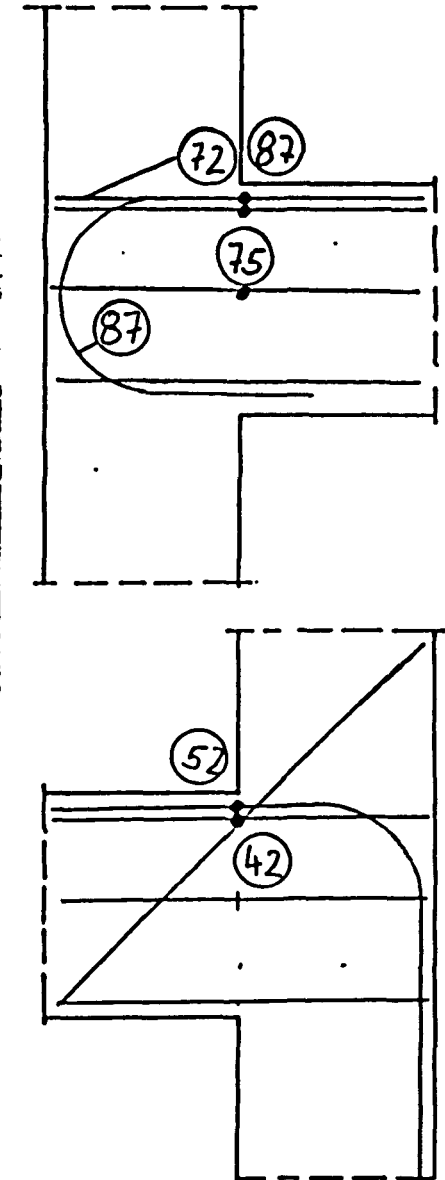
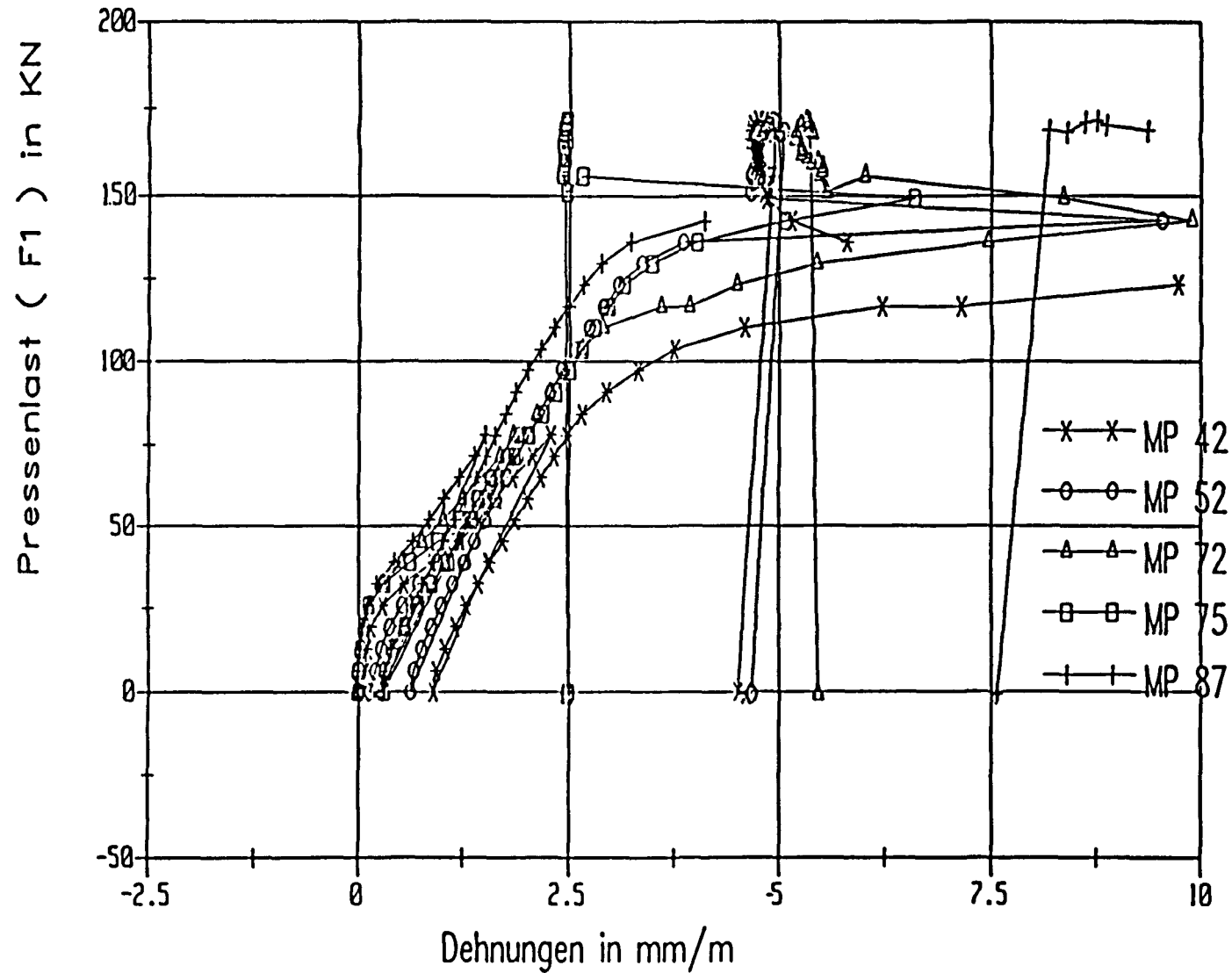
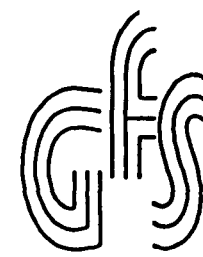


HB Riegel oben

# Versuchsrahmen IV

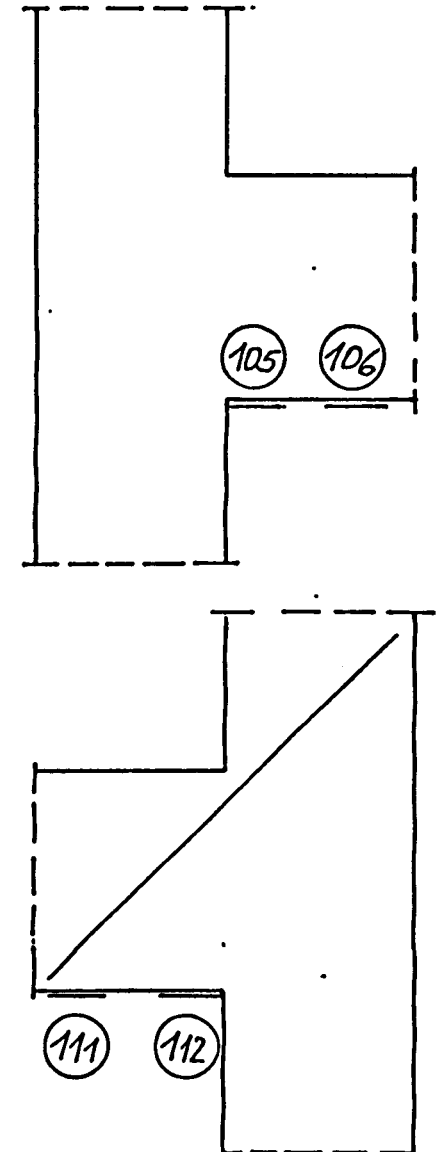
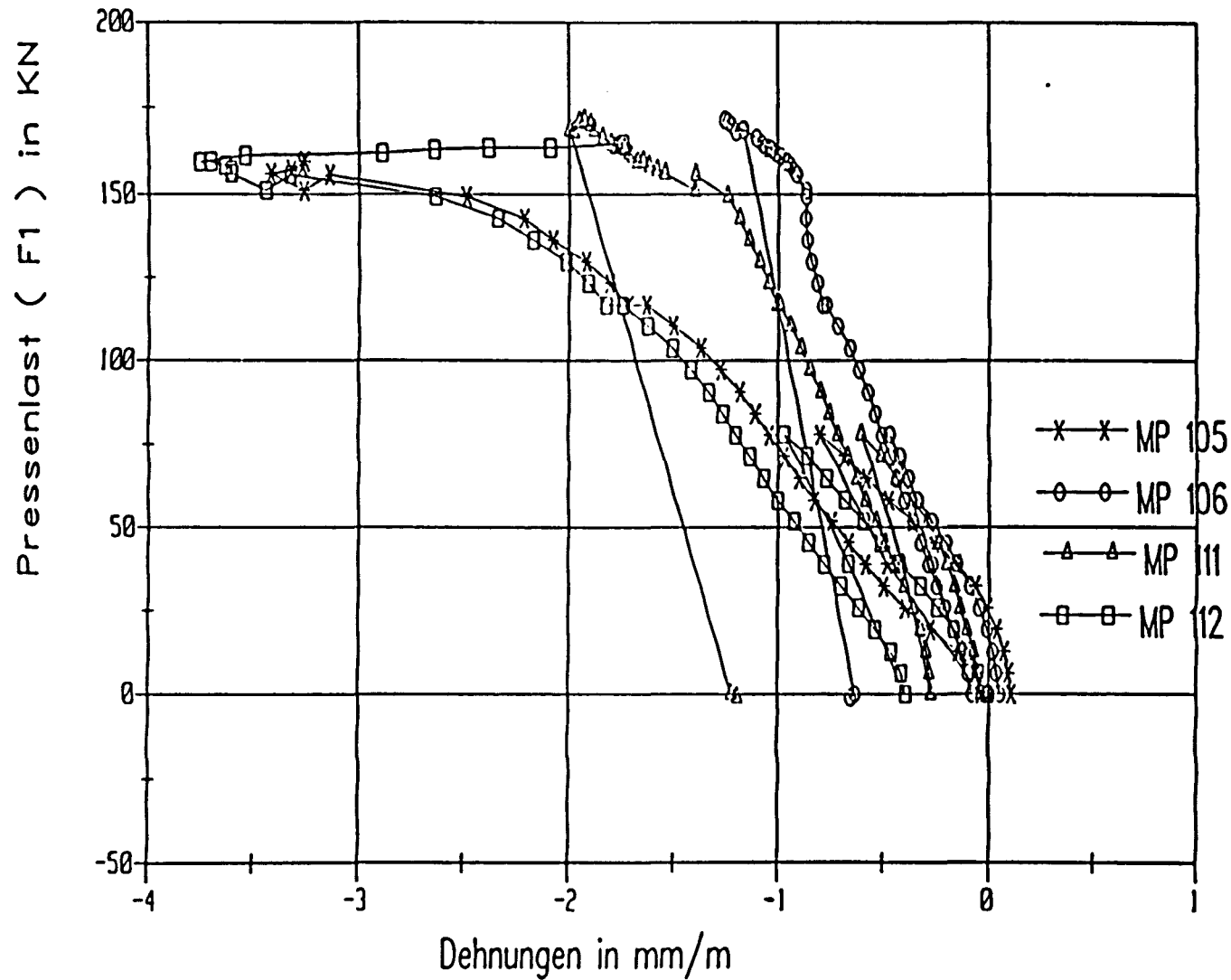


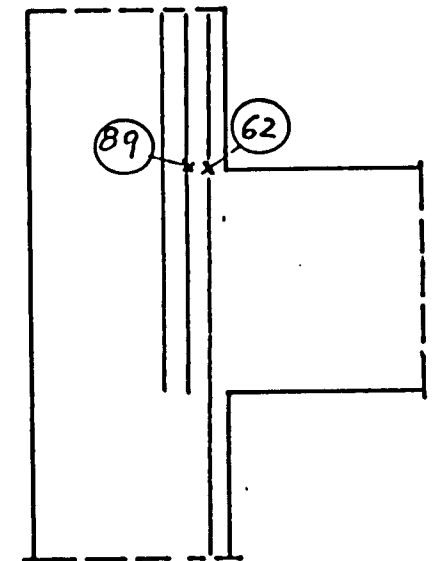
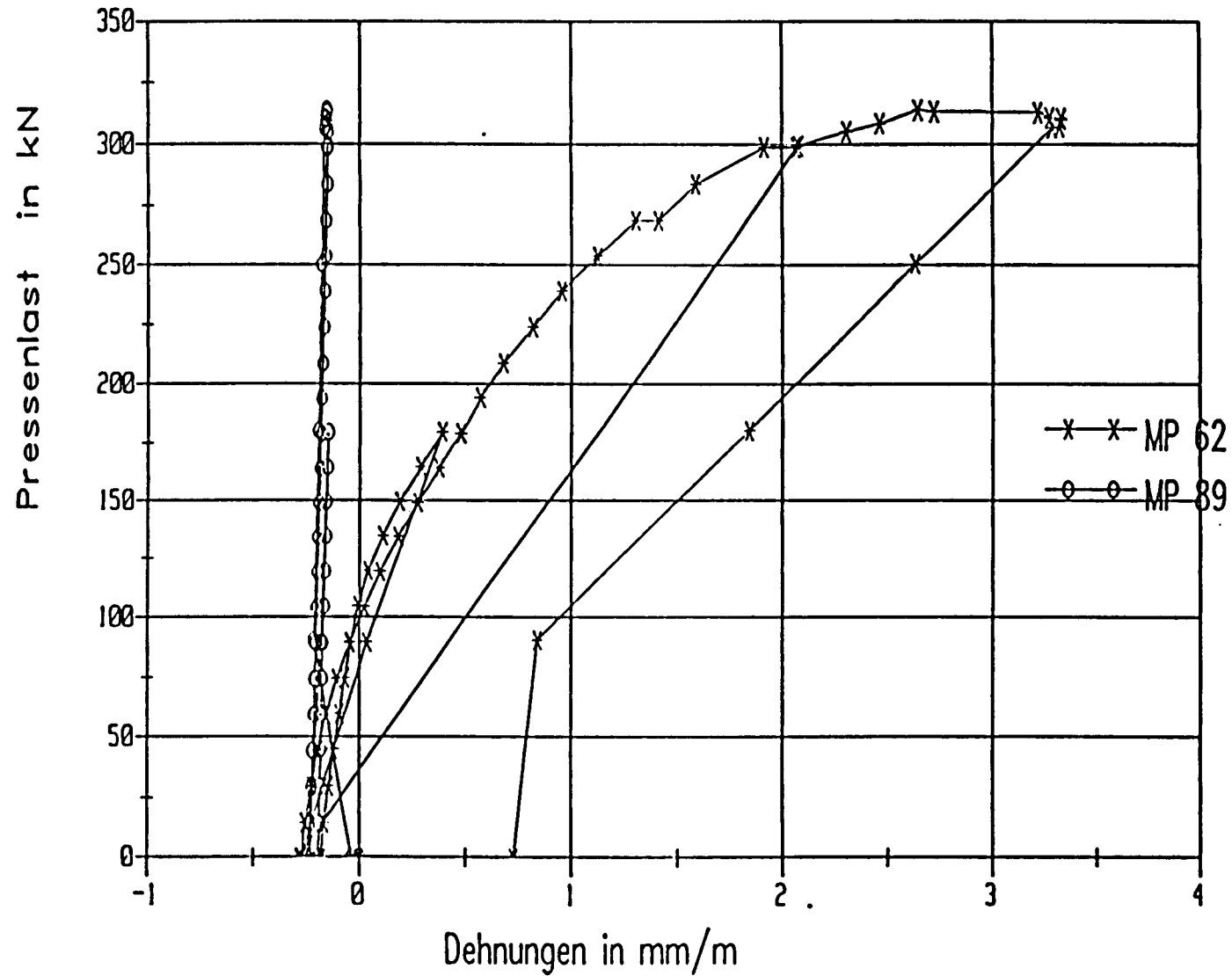




Beton Riegel

# Versuchsrahmen IV

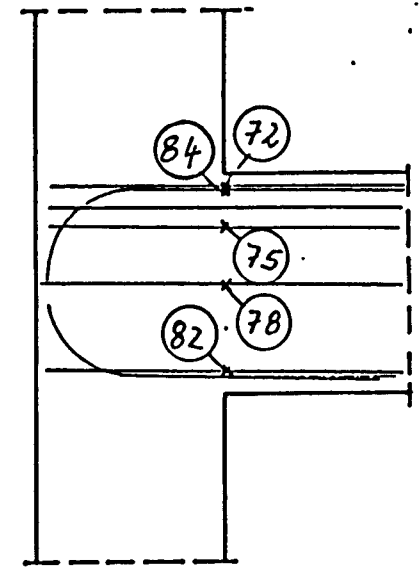
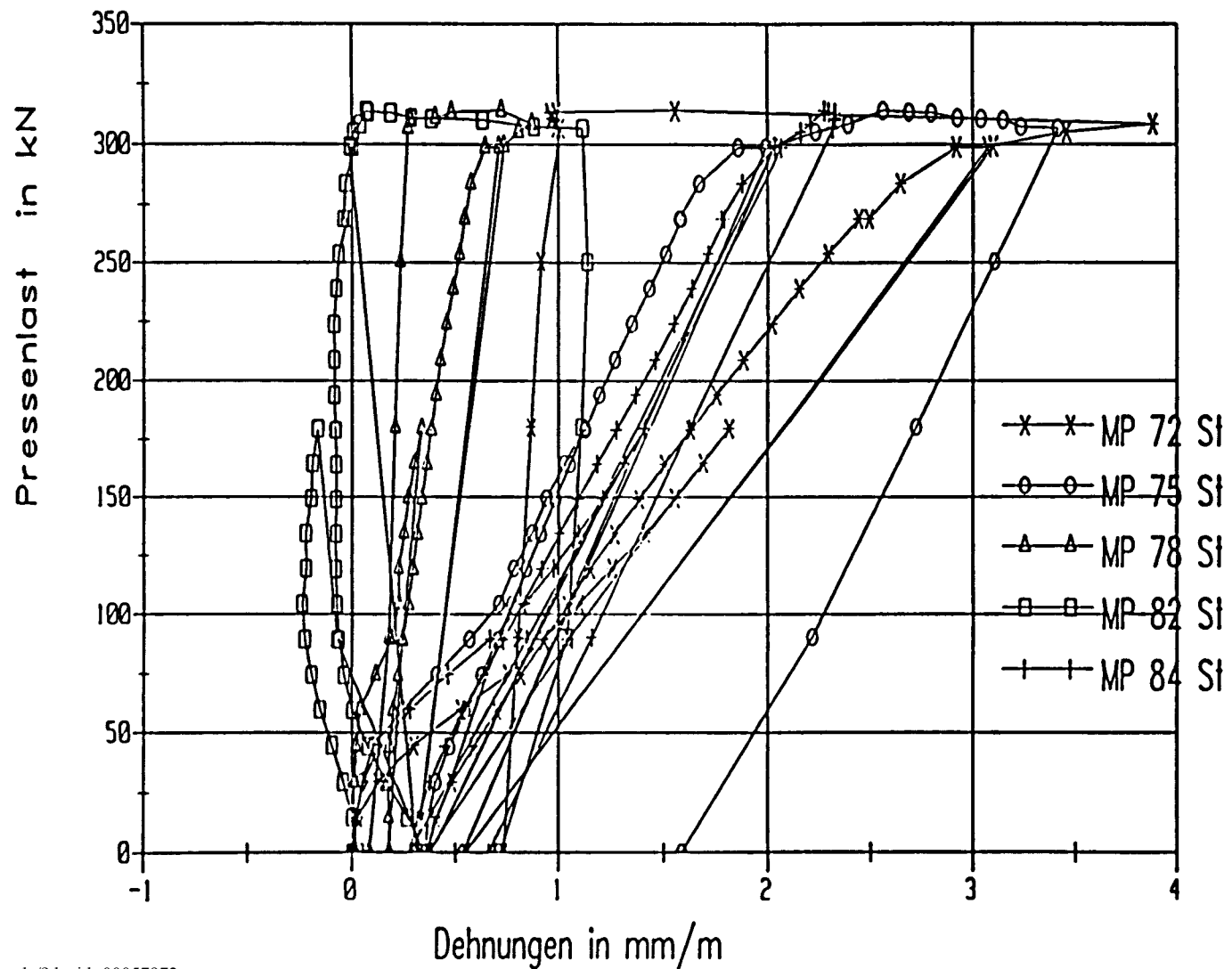
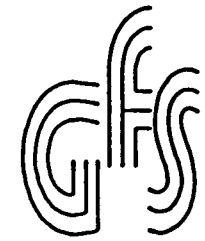




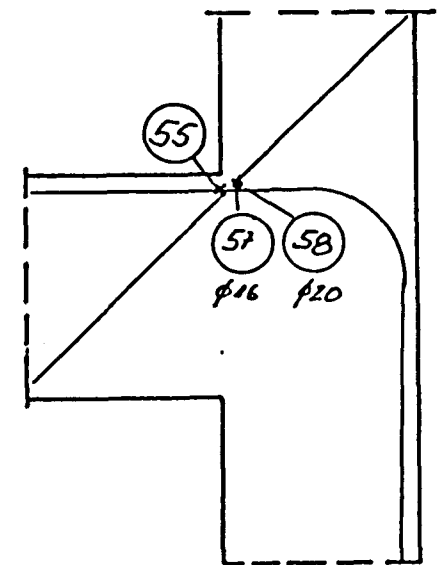
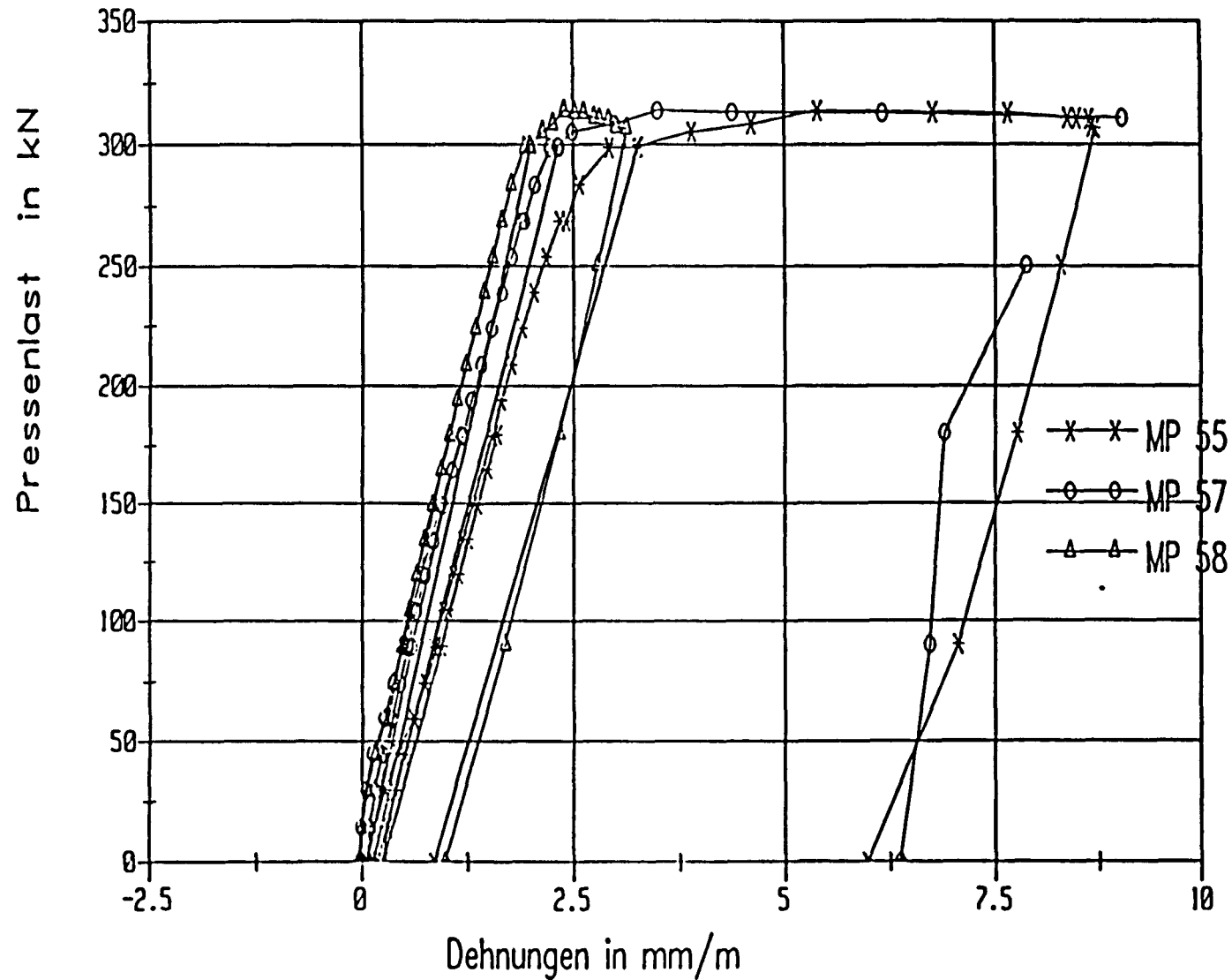
Anlage 31.9

Riegelanschnitt o. Schrägstab

# Versuchsrahmen V

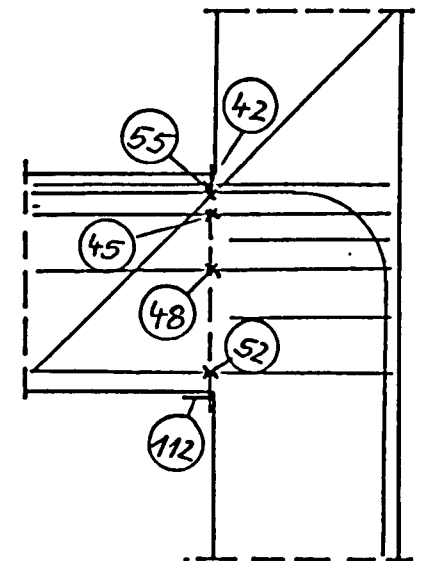
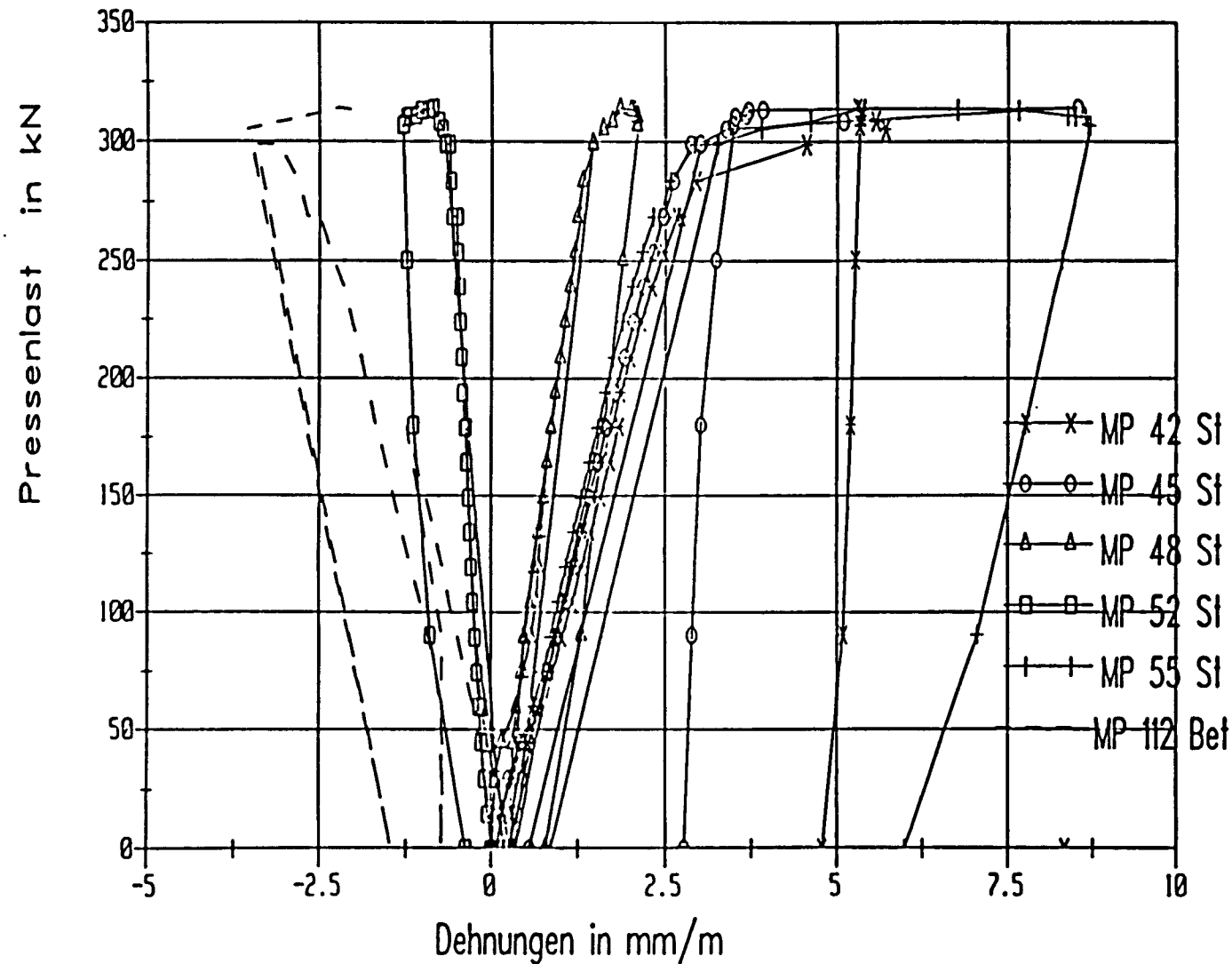


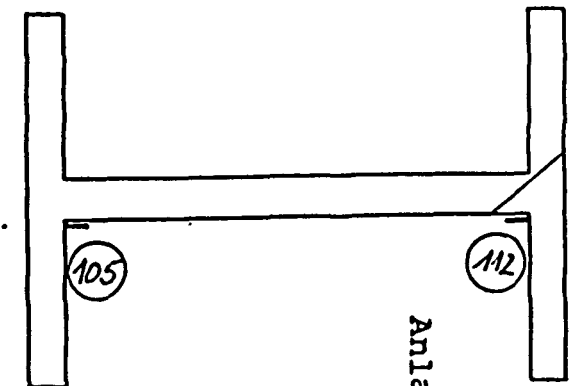
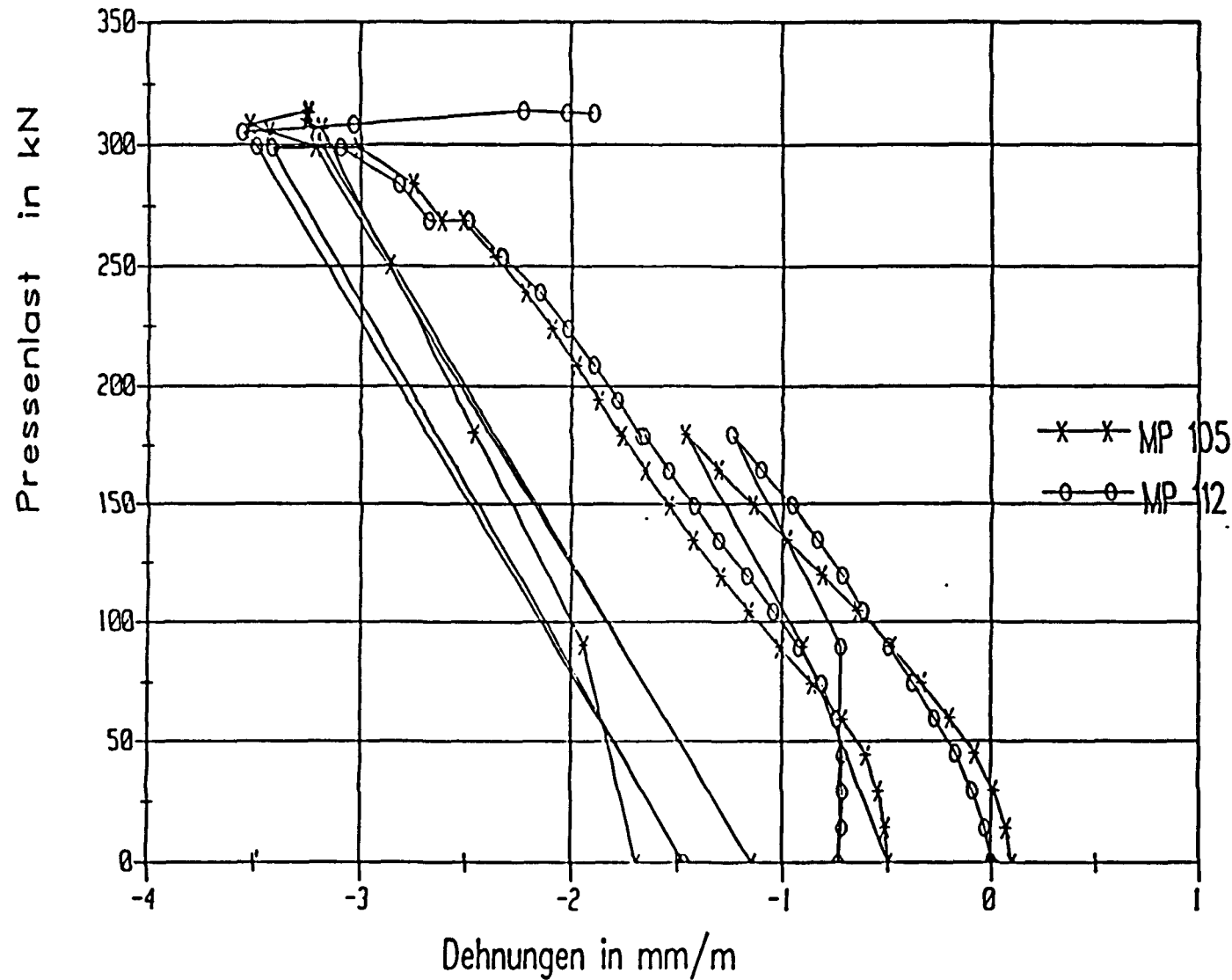
Anlage 31.21



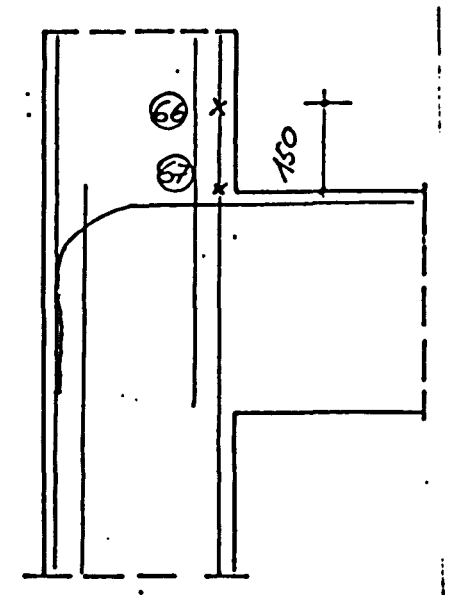
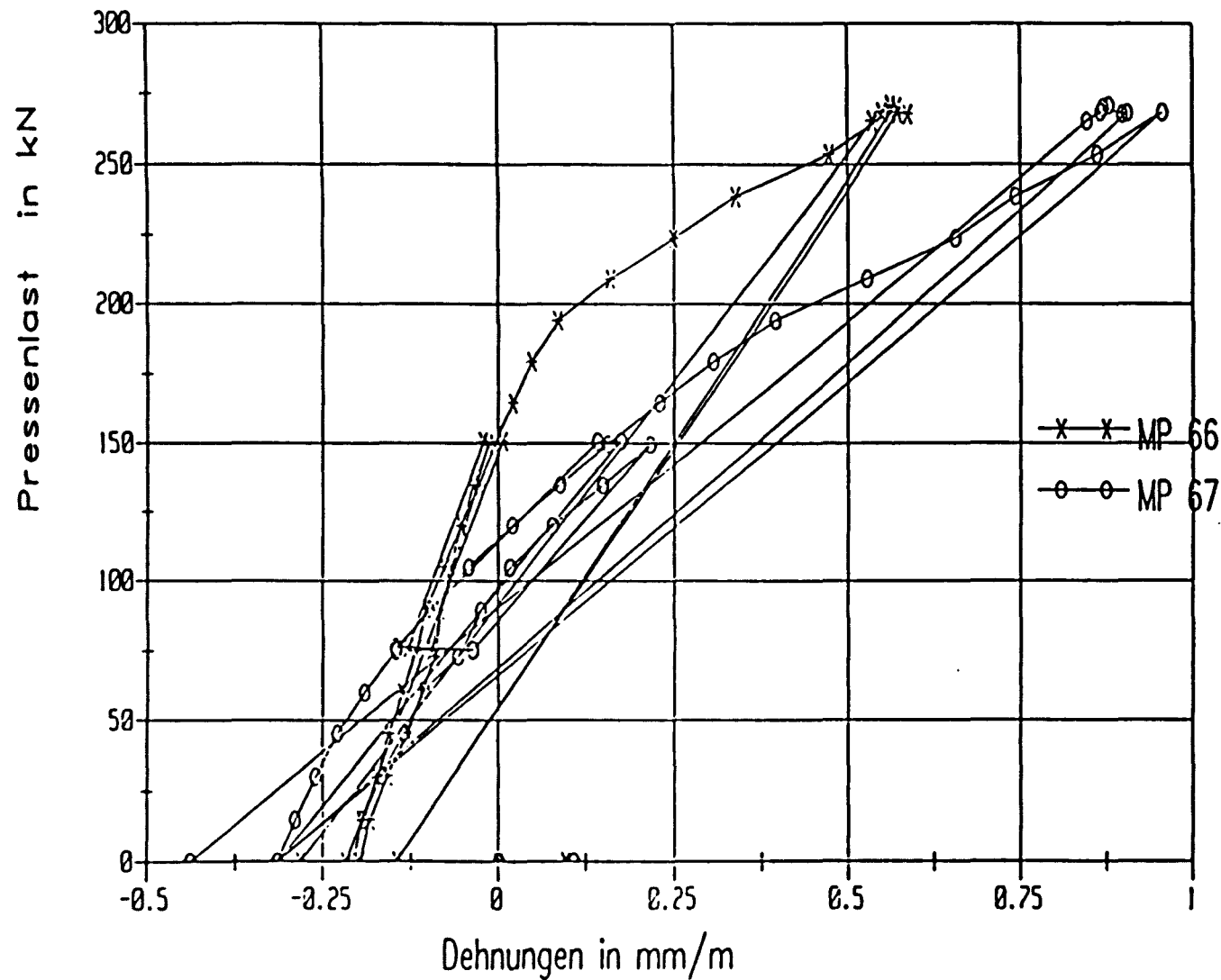
Knoten mit Schrägstab

# Versuchsrahmen V

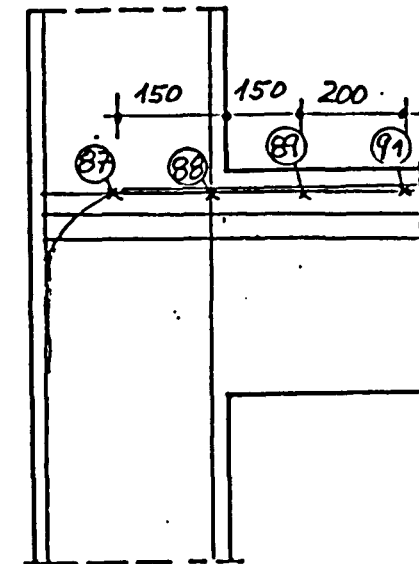
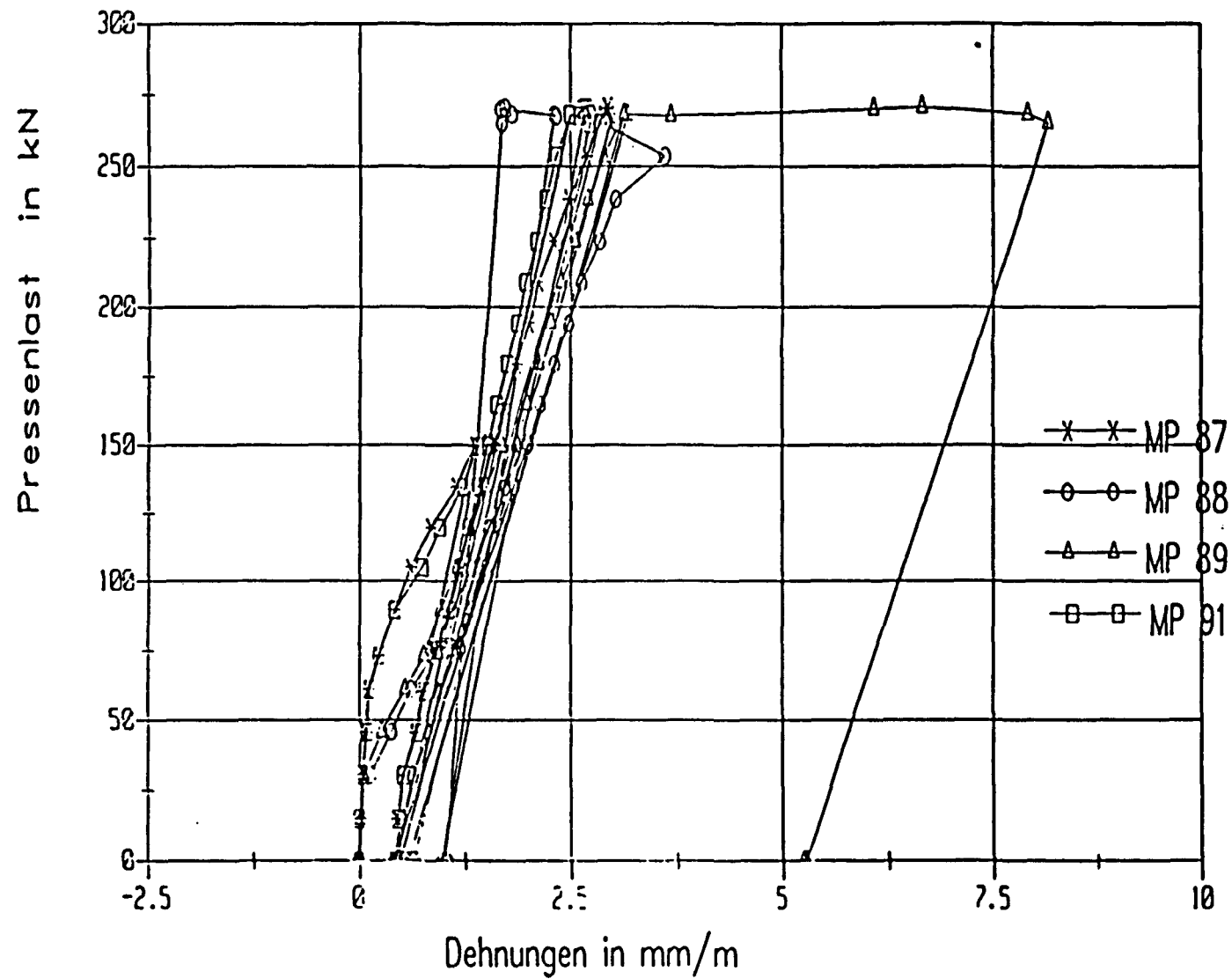


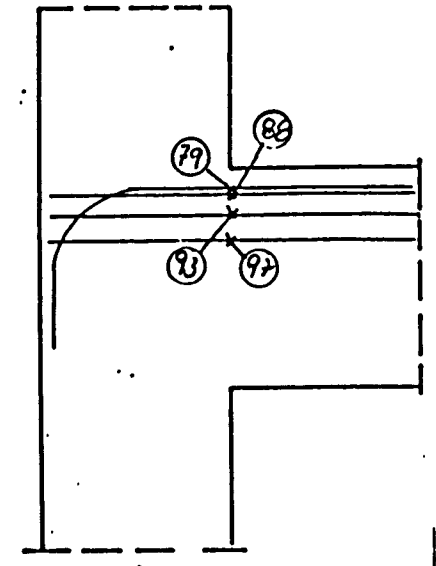
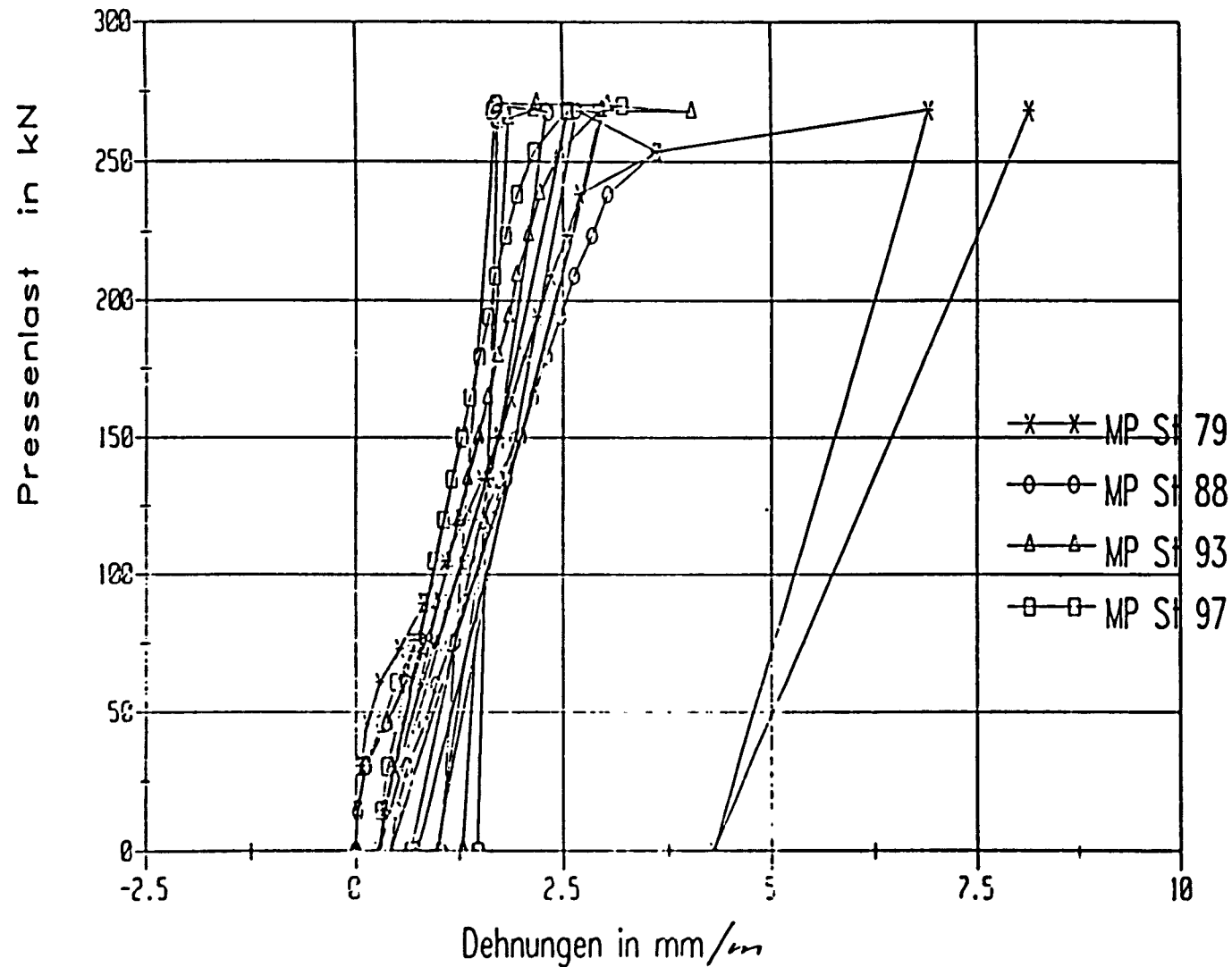


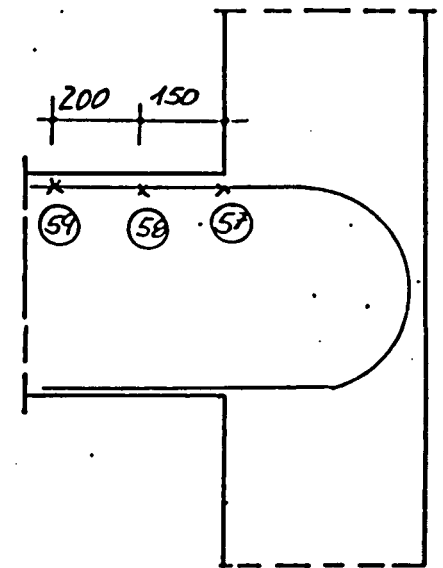
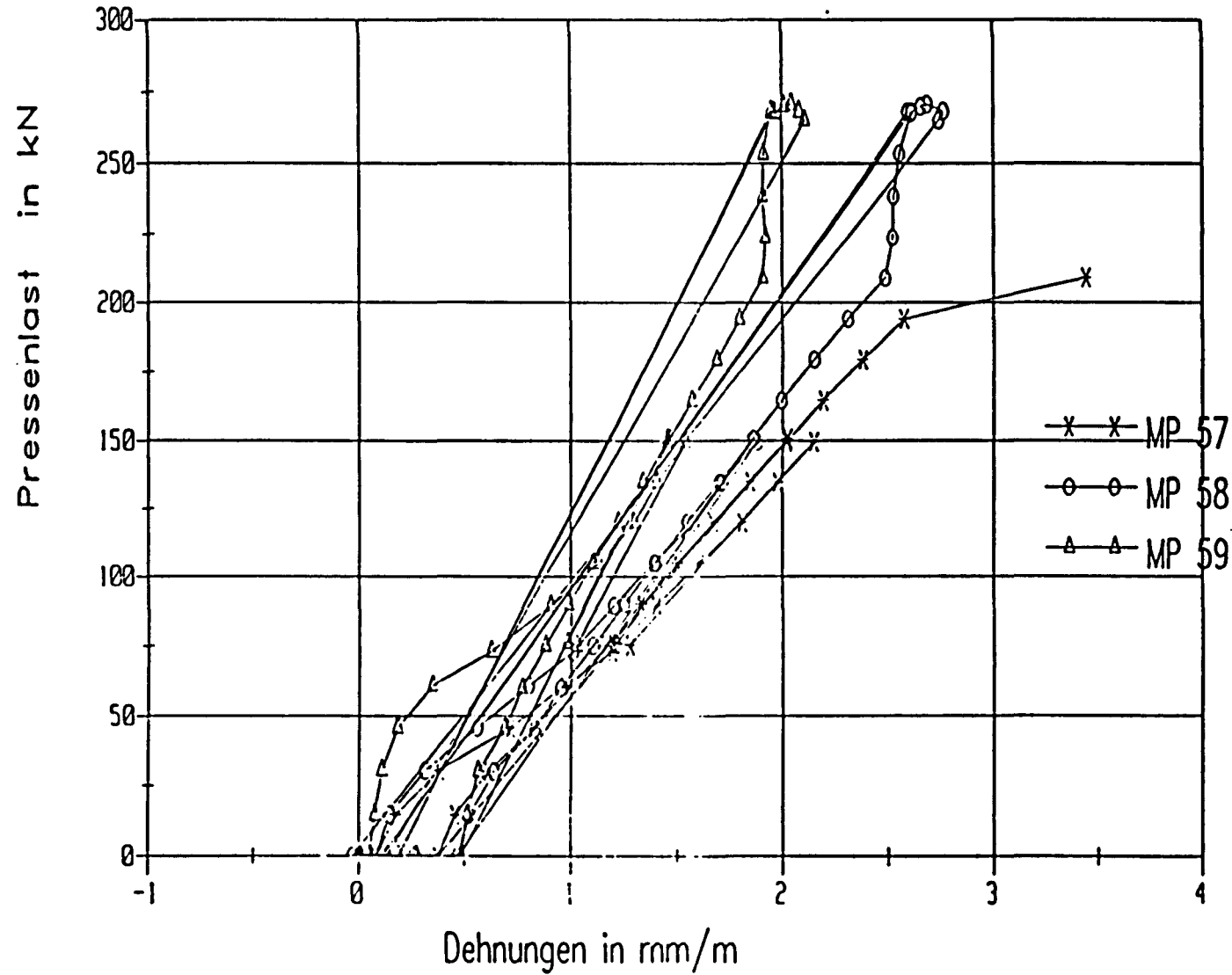
Anlage 31.50

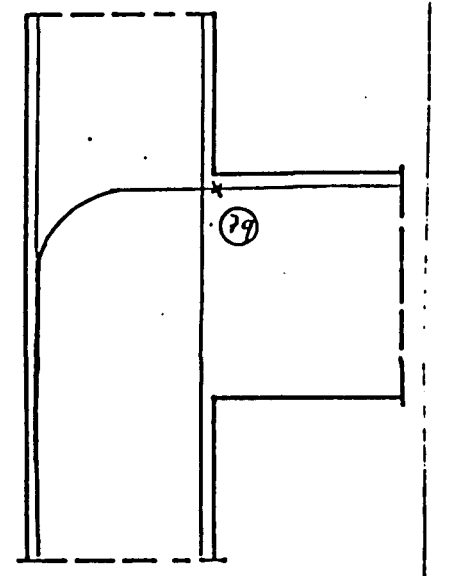
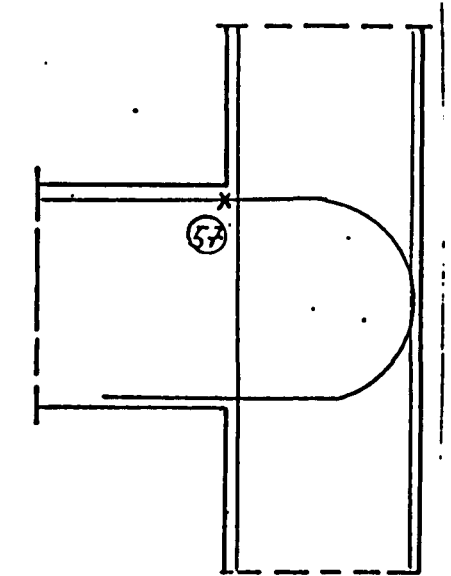
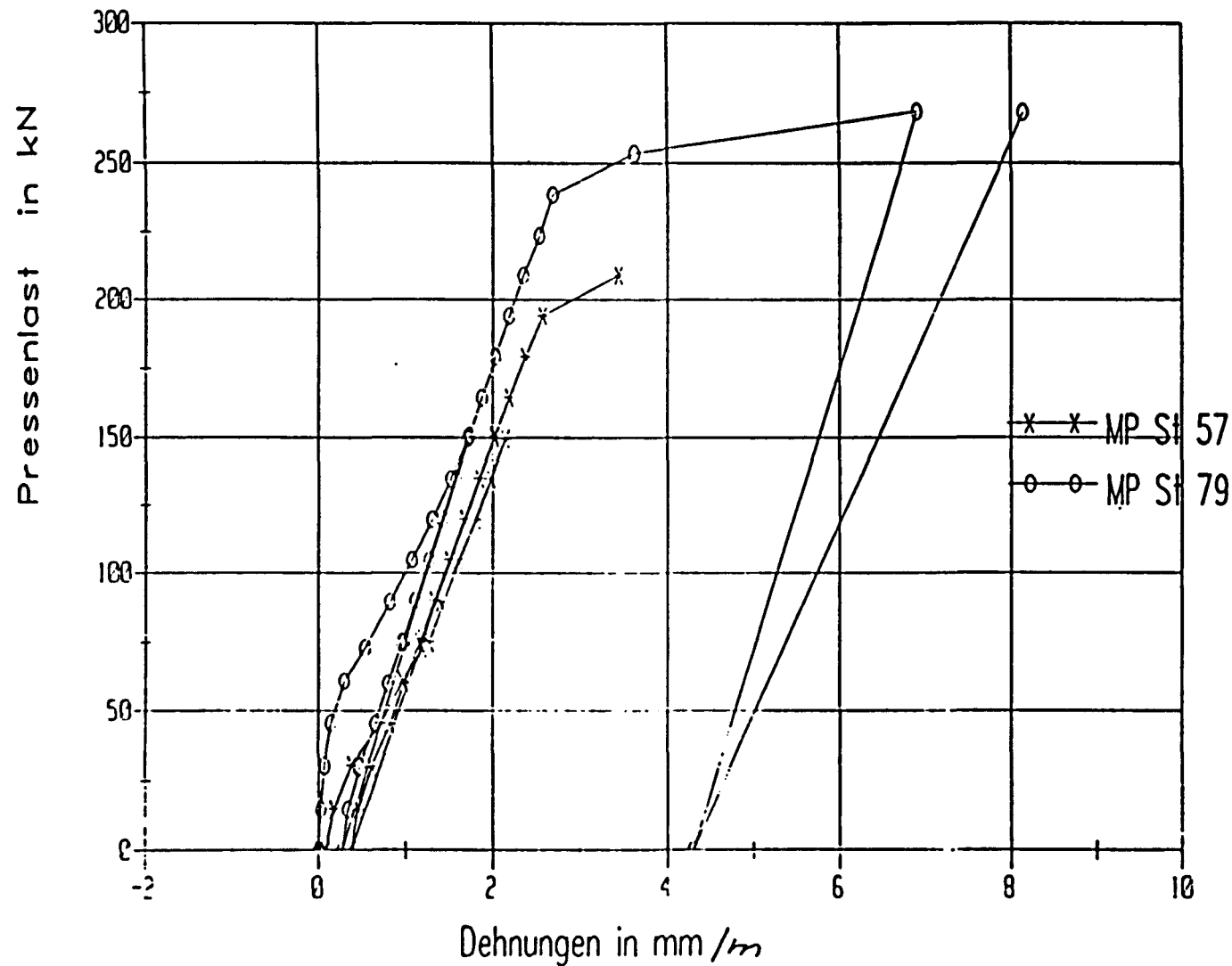


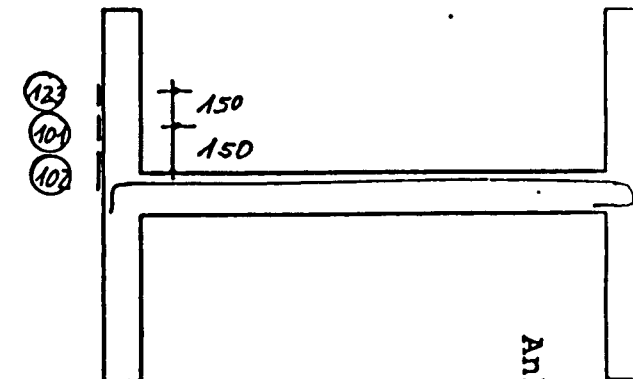
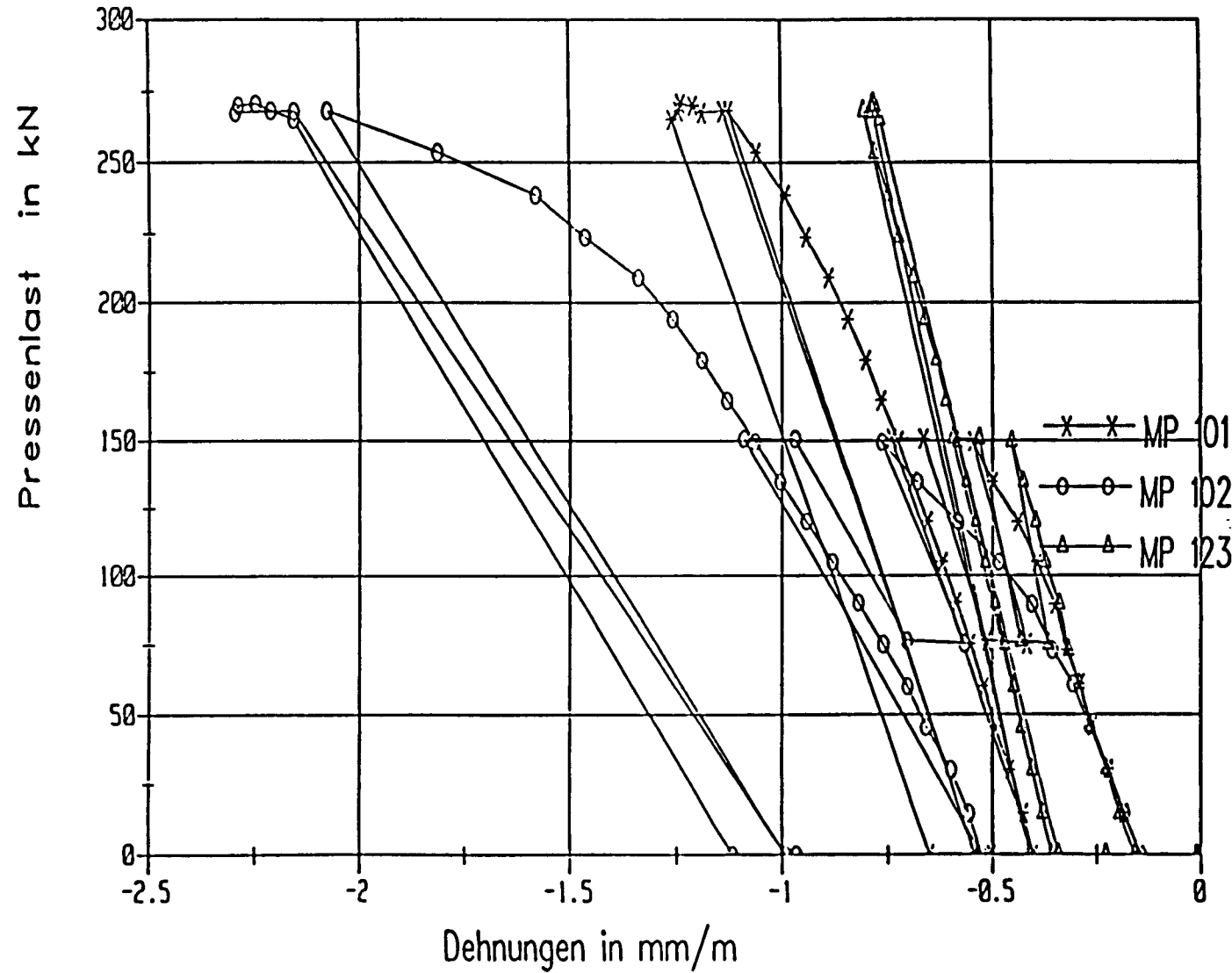




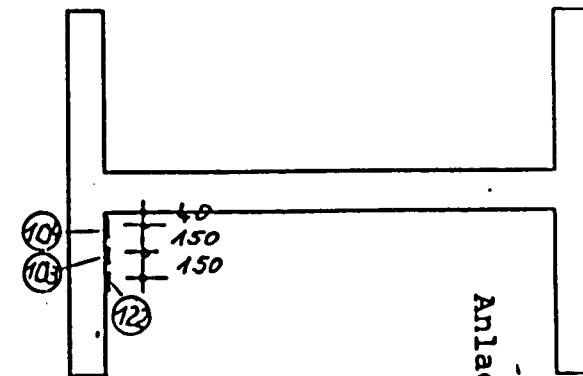
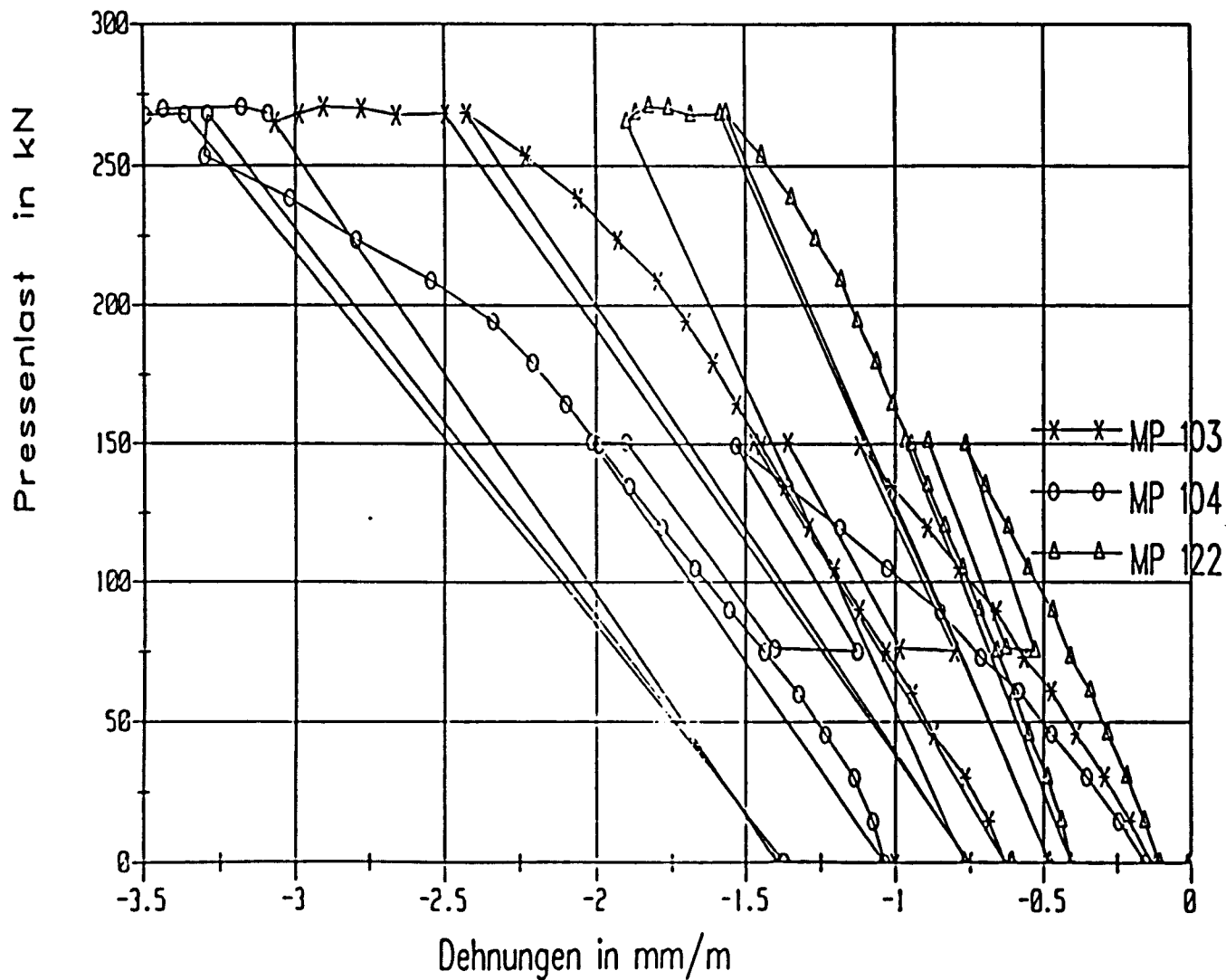


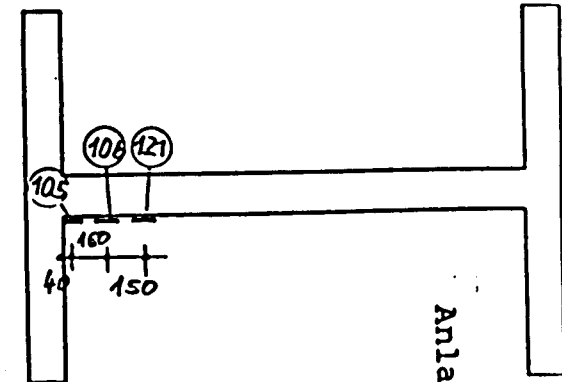
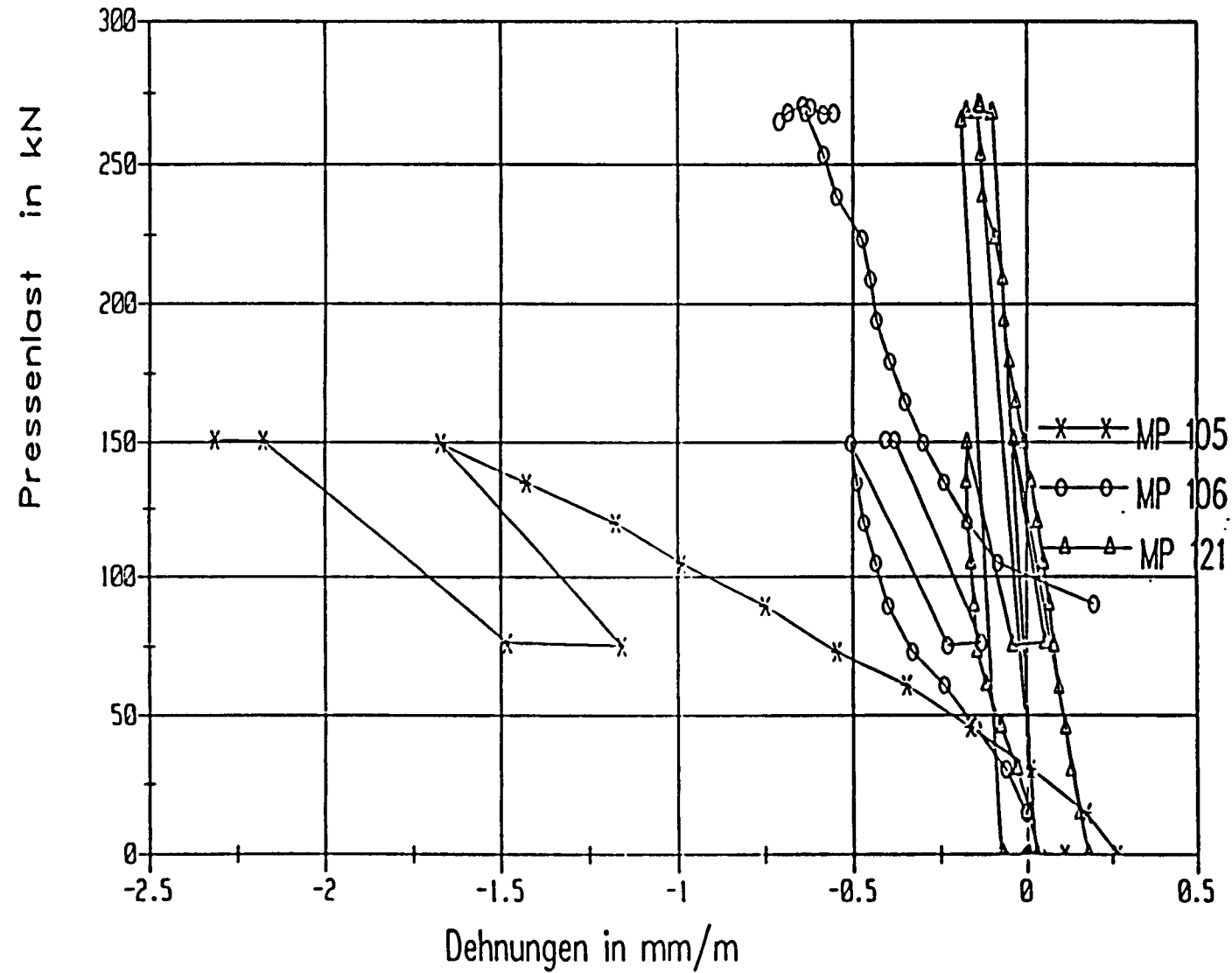




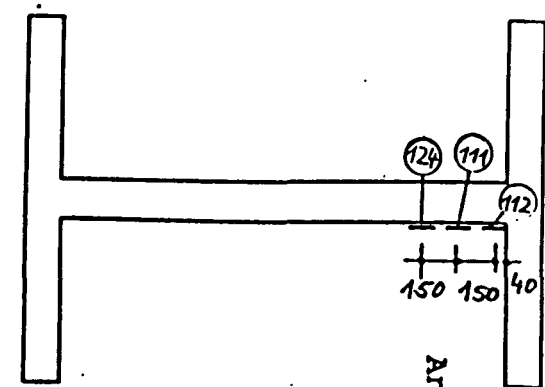
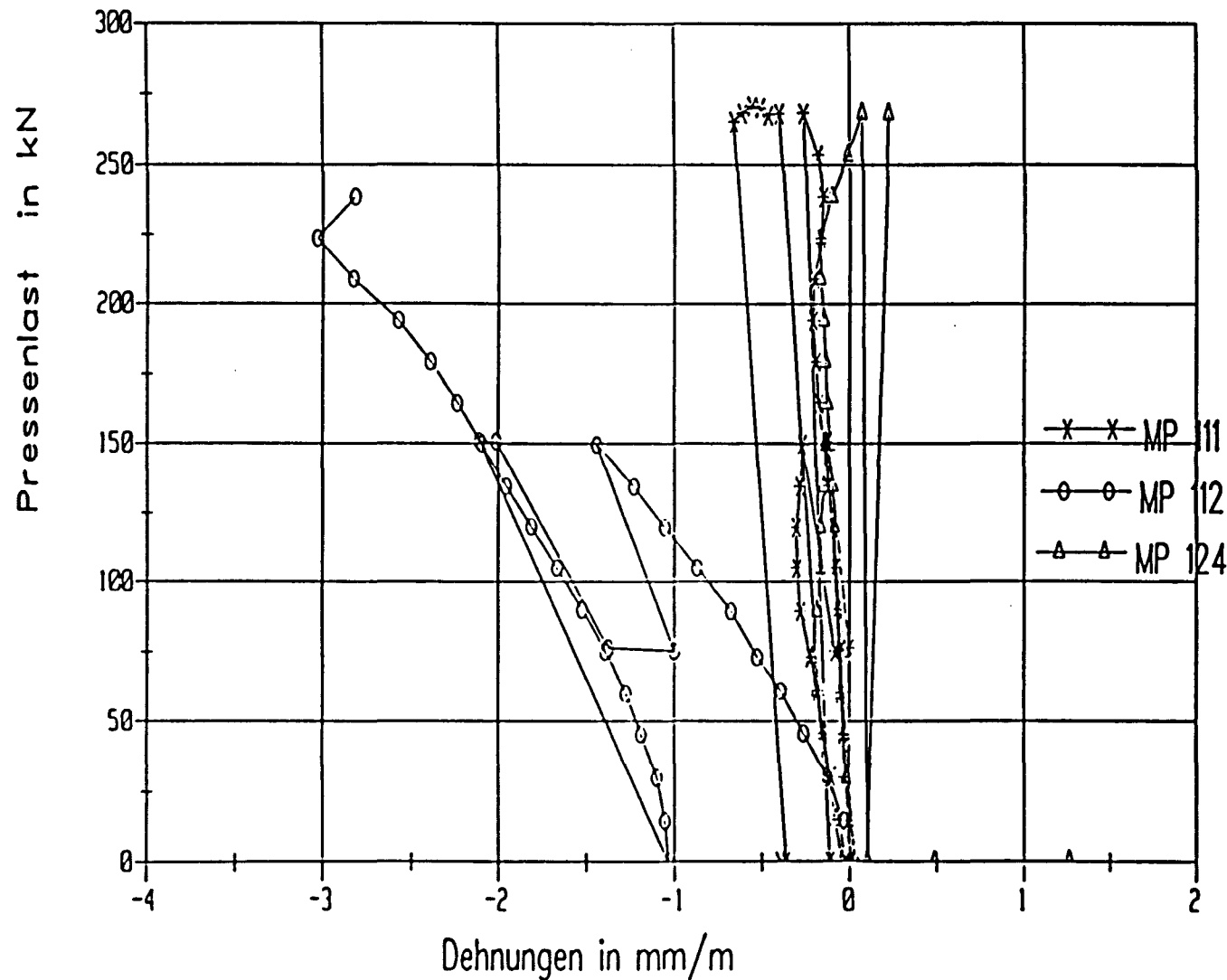


Anlage 36.32

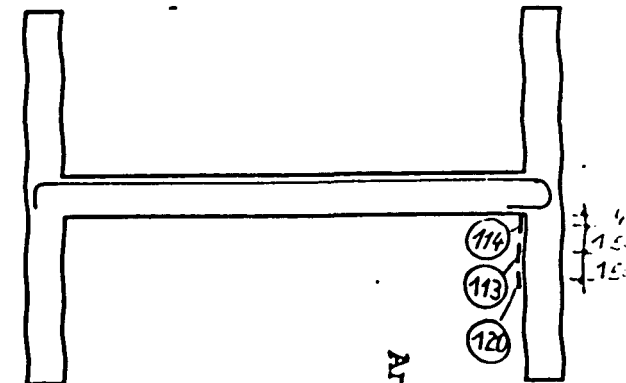
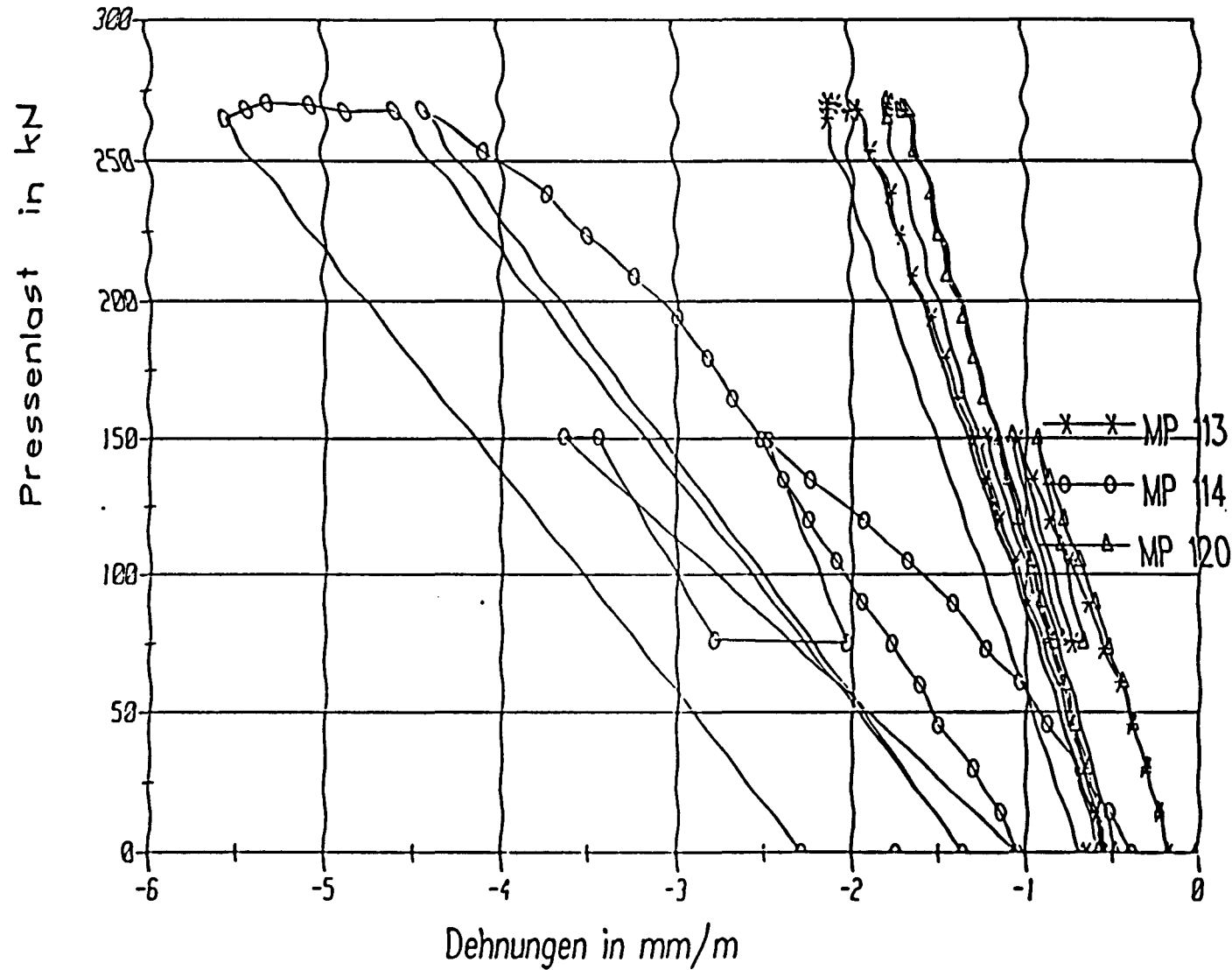
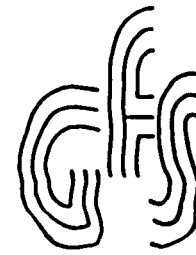




Anlage 36.34



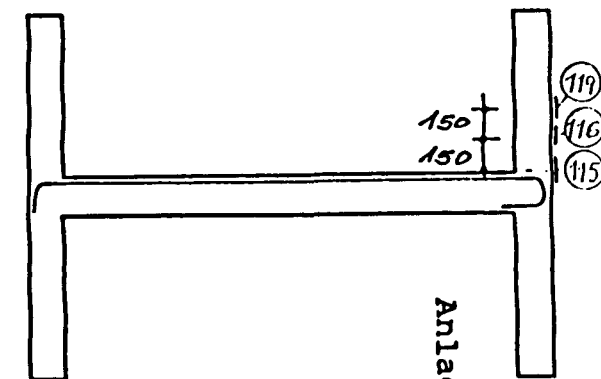
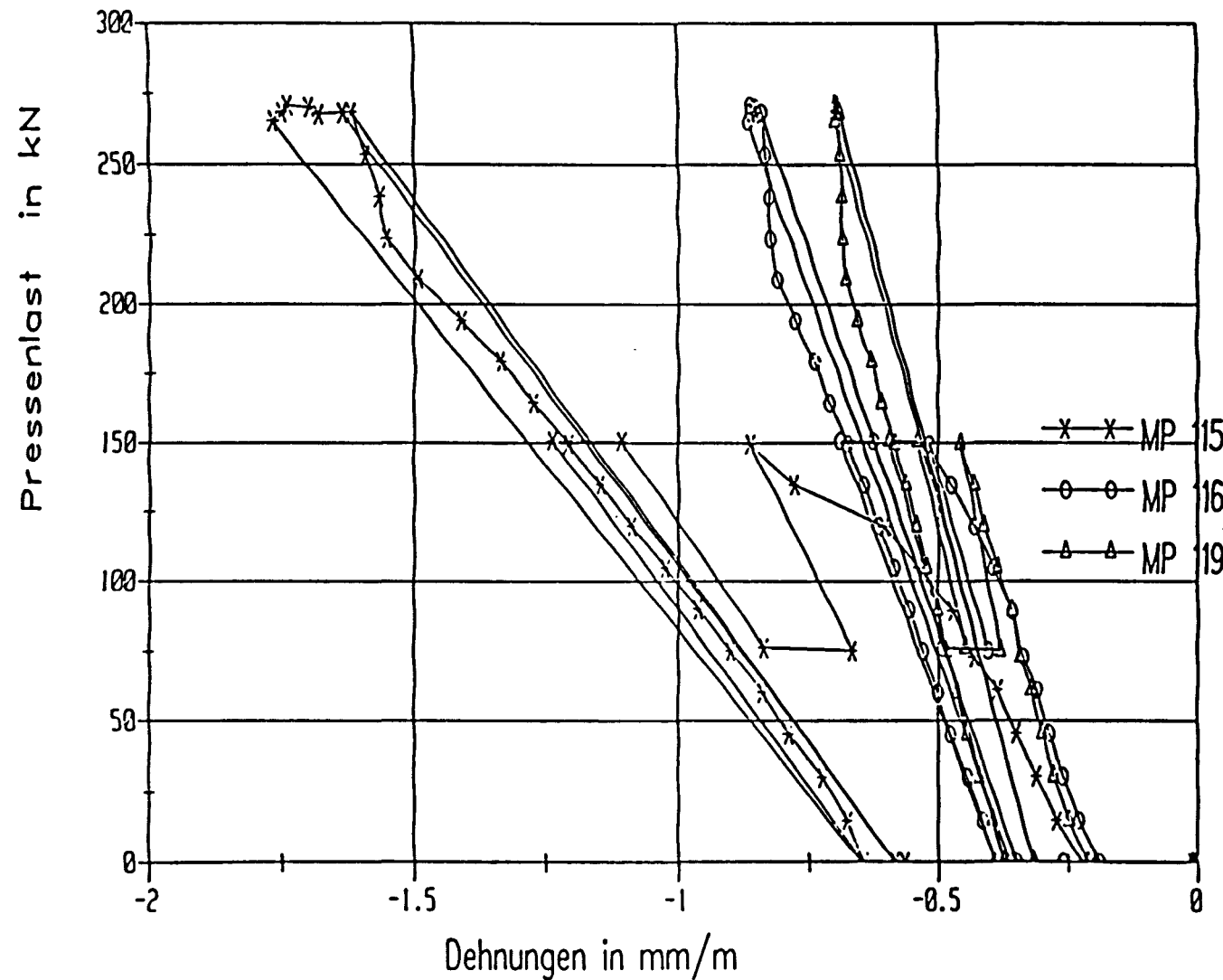




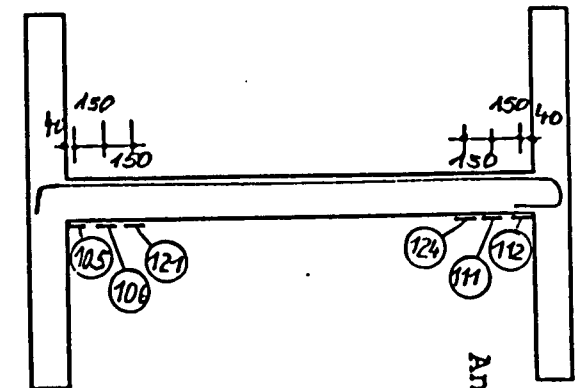
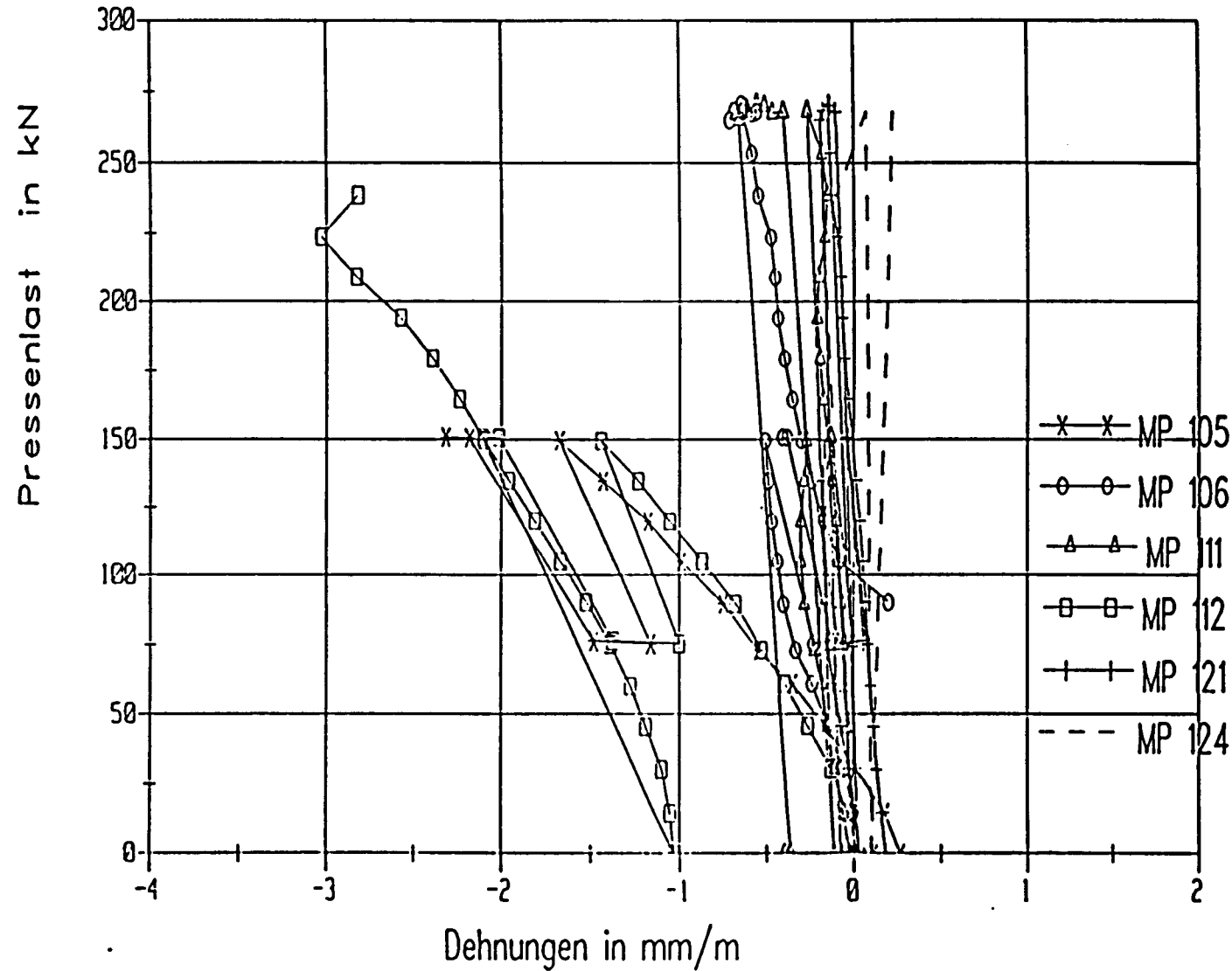
Anlage 36.3c

Betonstauchung

# Versuchsrahmen VI



Anlage 36.37



**Auswertung aller bis 1989 erreichbaren Rahmen-Eck- und  
Rahmen-Knoten-Versuche in normierter Form**

Ausgewertet wurden Versuche von Nilsson [4], Balint/Taylor [13], Kordina/Fuchs [14], van Dijk/Nelissen/van Stekelenburg [15] bzw. Stroband/Kolpa [21], Mayfield/Kong/Bennison/Twisten [18], Noor [19], Kordina/Wiedemann [7], Skettrup/Stabo/Anderson/Brondum-Nielsen [20], Domingues [22], Rehm/Stocker [23], Walter/Dieterle [16]. Insgesamt sind 238 Versuche auf diese Weise erfaßt und dargestellt. Das zugehörige Literaturverzeichnis ist anschließend wiedergegeben.

Um die Versuchsergebnisse an Rahmenecken miteinander vergleichen zu können, erscheint neben einer Normierung der Traglasten auch eine solche der Bewehrungsführung unerläßlich.

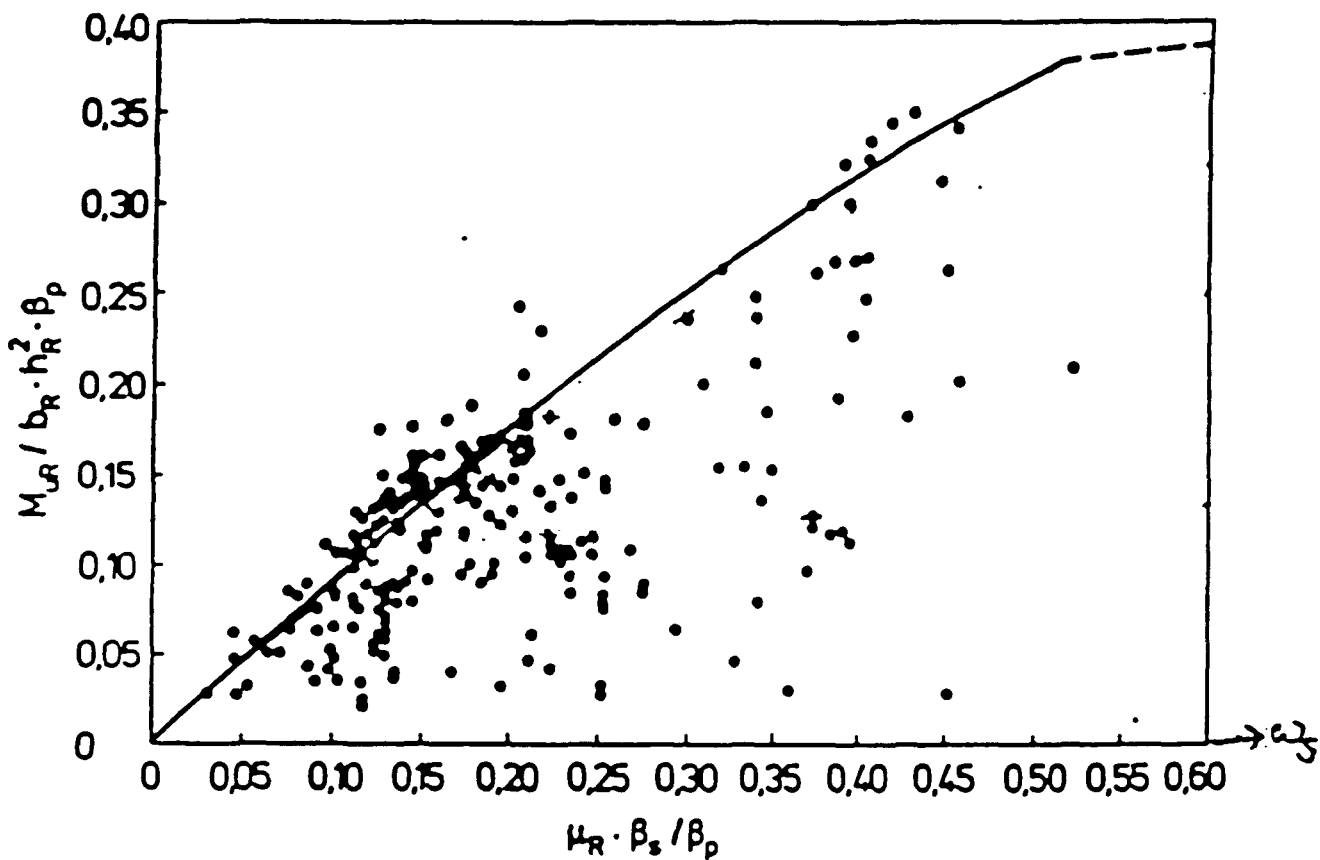
	1	2	3	4	5	6	7	8
K								
L								
M								
N								

**Bild A 1:** Normierung der Bewehrungsführung in Rahmenecken mit positivem Moment

Hierzu wurden vier Bezeichnungsebenen gewählt, von denen die Ebene K die Bewehrungsform der Zugbewehrung im Eckbereich, die Ebene L diejenige der Zusatzbewehrung, die Ebene M die Bügel- bzw. Netzbewehrung und die Ebene N die der Anordnung einer Druckbewehrung bzw. Voute vertritt. Aus Gründen der Vereinfachung wird nachfolgend die Bewehrungsführung durch eine vierstellige Zahl angegeben, wobei die erste Zahl K, die zweite L, die dritte M und die vierte N darstellt.

So bedeutet z.B. die Bewehrungsführungskennzahl 5070 eine Bewehrungsform der Zugbewehrung  $K = 5$ ; keine Zusatzbewehrung, eine Anordnung von Querbewehrung und keine Anordnung von Vouten bzw. einer Druckbewehrung.

Als Kennzeichen für die Bewehrungsmenge wurde nicht wie in den gängigen Veröffentlichungen der geometrische- ( $\mu_s$ ), sondern der mechanische Bewehrungsgrad  $\omega_s$  benutzt, da hierin auch die Einflußgrößen Beton- bzw. Bewehrungsstahlgüten beinhaltet sind. Dem Bewehrungsgrad von  $\mu_s = 0,4 \%$  entspricht z.B. bei einem Stahl der Güte BSt 420/500 und einer Betongüte B 25 der mechanische Bewehrungsgrad  $\omega_s$  von 0,065.



**Bild A 2:** Abhängigkeit der Bruchlast vom Bewehrungsgrad bei rechtwinkligen Rahmenecken mit positivem Moment

In Bild A 2 ist die bezogene Traglast dieser Versuche in Abhängigkeit vom mechanischen Bewehrungsgrad dargestellt. Außerdem ist in dem Bild die theoretische Traglastlinie eines durch reine Biegung beanspruchten Querschnitts ohne Druckbewehrung eingetragen. Obwohl Versuche mit sehr unterschiedlicher Bewehrungsführung im Eckbereich zusammengefaßt wurden, ist doch erkennbar, daß nur bis zu einem bestimmten mechanischen Bewehrungsgradbereich, der abhängig von der Bewehrungsführung und der Normalkraft sowie dem Verhältnis der Zug- zur Druckbewehrung im Riegelanschnitt ist, die Traglast mit dem Bewehrungsgrad ansteigt. Bei hohen Bewehrungsgehalten ist, von einigen Ausnahmen abgesehen, keine wesentliche Tragfähigkeitssteigerung zu erwarten. Hier wird die Tragfähigkeit im wesentlichen von der Ausbildung der schrägen Druckstrebe im Knotenbereich sowie von deren Festigkeit bestimmt.

## Rahmen-Endknoten

Um die Versuchsergebnisse an Rahmenendknoten miteinander vergleichen zu können, wurde auch hier eine Normierung der Ergebnisse und der Einflußparameter einschließlich derjenigen der Bewehrungsführung durchgeführt (siehe Bild A 3).

	1	2	3	4	5	6	7
K							
L							
M							
N							

Bild A 3: Normierung der Bewehrungsführung von Rahmenendknoten

In Bild A 4 sind die Ergebnisse der ausgewerteten Versuche dargestellt. Hier ist in normierter Form das bezogene Riegelanschnittsmoment in Abhängigkeit vom mechanischen Bewehrungsgrad des Riegels dargestellt. Das Riegelanschnittsmoment wurde deshalb gewählt, weil Querschnittsanalysen zeigen, daß in der Mehrzahl der Fälle die Riegeltragfähigkeit die theoretische Traglast bestimmt. Außerdem ist in dem Bild die theoretische Traglastlinie eines durch eine Biegung beanspruchten Querschnitts ohne Druckbewehrung eingetragen. Der strichlierte Teil dieser Kurve bedeutet, daß hier ein Ver-



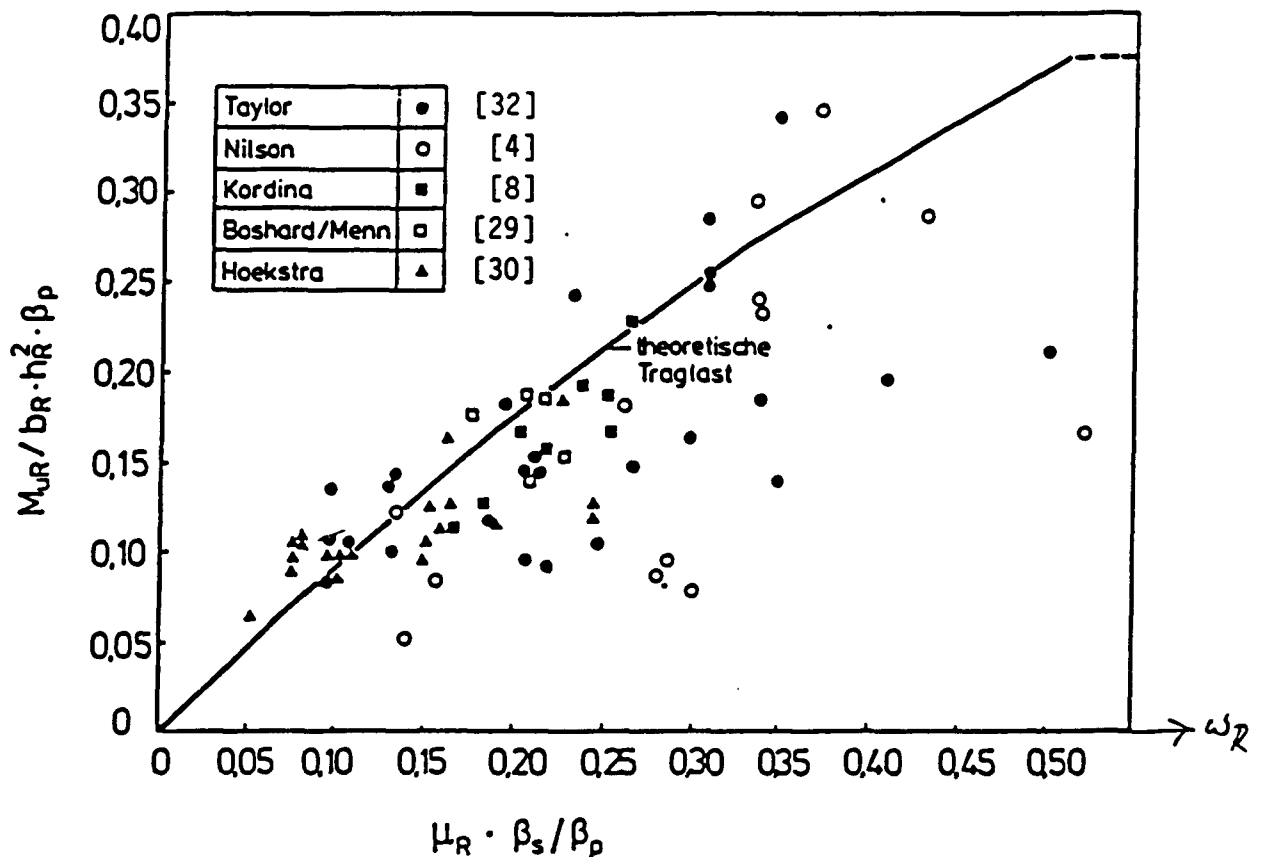


Bild A 4: Abhängigkeit der Bruchlast vom Riegelbewehrungsgrad bei ebenen Rahmenendknoten

sagen der Betondruckzone vorliegt. Obwohl Versuche mit sehr unterschiedlicher Bewehrungsführung im Knotenbereich zusammengefaßt werden, ist doch eine Tendenz erkennbar; bei mechanischen Bewehrungsgraden  $\omega_R \geq 0,35$  ist trotz Verdoppelung des Bewehrungsgehaltes - von einigen Ausnahmen abgesehen - keine wesentliche Steigerung der Tragfähigkeit zu erwarten. Das zugehörige Literaturverzeichnis ist anschließend wiedergegeben.

Ursache dieses vorzeitigen Versagens ist wahrscheinlich ein Verbundversagen der Stützenlängsbewehrung oder eine Druckstrebenzerstörung im Knotenbereich.

**Literaturverzeichnis, zugehörig zur normierten Versuchsauswertung**

- / 1/ Baker, A.L.; Amarakane, B.  
Inelastic hyperstatical frames - Analysis and application of the international correlates tests - CEB-Bulletin No. 52 (1965), S. 1-93**
- / 2/ Siviero, E.  
Rotation capacity of monodimensional Members in Structural Concrete  
Ceb-Bulletin No. 105 (1976), S. 206-222**
- / 3/ CEB-FIP-Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton, 3. Ausgabe 1978**
- / 4/ Nilsson, I.H.E.  
Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment  
National Swedish Building Research Dokument D7, 1973**
- / 5/ Kordina, K.; Wiedemann, G.  
Untersuchungen über die Bewehrungsführung in geknickten Treppenlaufplatten  
Forschungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, Oktober 1976**
- / 6/ Kordina, K.; Schaaf, E.  
Tragverhalten von Rahmenknoten bei herabgesetzter Verankerungslänge der Anschlußbewehrung unter Berücksichtigung der Bewehrungsführung  
Forschungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, 1979**
- / 7/ Kordina, K.; Wiedemann, G.  
Bewehrungsführung in Rahmenecken  
Forschungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, April 1978**
- / 8/ Kordina, K.  
Bewehrungsführung in Ecken und Rahmenendknoten Heft 354 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, 1984**

- / 9/ Kordina, K.; Schaaf, E.; Westphal, T.  
Empfehlungen für die Bewehrungsführung in Rahmenecken und -knoten  
Heft 373 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, 1986
  
- /10/ Bathe, K.J.  
ADINA: A Finite Element Program for Automatic Dynamic Incremental  
Nonlinear Analysis  
Massachusetts Institute of Technology, Report Nr.824481, Massa-  
chusetts, 1976
  
- /11/ Schmidt-Gönnner, G.  
Nichtlineare dreidimensionale Finite Element Analyse von Stahlbeton-  
trägern unter Torsion, Biegung und Querkraft  
Dissertation, TH Darmstadt, 1984
  
- /12/ Keuser, H.; Kornelius, K.; Mehlhorn, G.  
Bond between prestressed Steel and Concrete -Computer  
Analysis using ADINA-, published in Computers and Structures, 1983
  
- /13/ Balint, P.S.; Taylor, H.P.J.  
Reinforcement Detailing of Frame Corner Joints with Particular Refe-  
rence to Opening Corners  
Technical Report 42.462, Cement and Concrete Association, Februar  
1972
  
- /14/ Kordina, K.; Fuchs, G.  
Untersuchungen zur Anwendung von hakenförmigen Übergreifungsstößen  
in Rahmenecken  
Unveröffentlichter Versuchsbericht aus dem Institut für Baustoff-  
kunde und Stahlbetonbau der TU Braunschweig, Januar 1970
  
- /15/ van Dijk, H.A.; Nelissen, L.J.M.; van Stekelenburg, P.J.  
Het gedrag van kolom - balkenverbindingen in gewapend beton  
Rapport S-76-02 Stevin-Laboratorium Delft, 1976
  
- /16/ Walther, R.; Dieterle, H.  
Versuche zur Bewehrung biegesteifer Rahmenecken,  
Versuchsbericht des Otto-Graf-Instituts, Stuttgart, April 1968

- /17/ Swann, R.A.  
Flexural Strength of Corners of Reinforced concrete Portal Frames  
Technical Report, Cement and Concrete Association, November 1969
- /18/ Mayfield, B.; Kong, F.K.; Bennison, A.; Davis, J.C.D.T.  
Corner Joint Details in Structural Lightweight Concrete  
ACI Journal, Mai 1971
- /19/ Noor, F.A.  
Ultimate Strength and Cracking of Wall Corners  
Concrete, Juli 1977, S.31-35
- /20/ Skettrup, E.; Strabo, J.; Andersen, N.H.; Brondum-Nielsen, T.  
Concrete Frame Corners  
ACI Journal, November-Dezember 1984, S. 587-593
- /21/ Stroband, J.; Kolpa, J.J.  
The Behaviour of Reinforced Concrete Column-Beam Joints. Part 2:  
Corner Joints subjected to Positive Moments  
Report 6-81-5, Department of Civil Engineering, Delft, University of  
Technology, April 1981
- /22/ Domingues, L.C.  
Verificacao da Eficiencia de Armaduras de Cantos  
Dissertation, Estado da Guanbura, Rio de Janeiro, Brasilien, Juni  
1974
- /23/ Rehm, G.; Stocker, M.  
Versuchsbericht über die Belastung von Probekörpern für Silozel-  
lenecken  
Bericht Nr. 1595, MPA München, April 1964
- /24/ Mayfield, B.; Kong, F.K.; Bennison, A.  
Strength and Stiffness of Lightweight Concrete Corners  
ACI Journal, Juli 1972, S.420-427

- /25/ Stroband, J.; Kolpa, J.J.**  
**The Behaviour of Reinforced Concrete Column-to-Beam Joints. Part I:**  
**Corner Joints Subjected to Negative Moments**  
**Report 5-83-9, Department of Civil Engineering, Delft, University of**  
**Technology, April 1983**
- /26/ Oestlund, L.**  
**The Influence of the Bending Radius and Concrete Cover for Deformed**  
**Bars on the Risk of Splitting Failure in Reinforced Concrete Struc-**  
**tures**  
**The Royal Institute of Technology, Stockholm, Juni 1963**
- /27/ Sarsam, K.F.; Phipps, M.E.**  
**The Shear Design of in situ Reinforced Concrete Beam-Column Joints**  
**Subjected to Monotonic Loading**  
**Magazine of Concrete Research, März 1983, S.16-28**
- /28/ Sarsam, K.F.**  
**Strength and Deformation of Structural Concrete Joints Department of**  
**Civil and Structural Engineering**  
**Dissertation, Januar 1983**
- /29/ Bosshard, M.; Menn, C.**  
**Versuche über den Einfluß der Bewehrungsanordnung auf das Tragver-**  
**halten von Rahmenecken aus Stahlbeton**  
**Versuchsbericht Nr. 7806-1 des Instituts für Baustatik und Konstruk-**  
**tion der ETH Zürich, Mai 1984**
- /30/ Hoekstra, A.S.**  
**De Invloed van de Wagenings Detaillering op het Gedrag van de Door-**  
**gande- Kolombalkverbinding**  
**Civiele Techniek, TH Delft, Oktober 1977**

- /31/ Stroband, J.  
Sterkte en Vervormingsgedrag van Kolom - Balkenverbindingen in Monoliete Raamwerken (Strength and Deformation Behaviour of Column-Beam connection in monolithic Framework)  
Betononderzoek 1976-1980. Research in Structural Concrete, Report des Stevin Laboratoriums of Technology in Delft, Oktober 1980, S. 77-79
- X /32/ Taylor, H.P.J.  
The Behaviour of in situ Concrete Beam-Column Joints  
Technical Report 42.492 der Cement and Concrete Association, London, Mai 1974
- /33/ Jirsa, J.O.; Marques, J.L.G.  
A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam-Column Joints  
Austin University, Texas, Department of Civil Engineering, Juli 1972
- /34/ Gheorgoussis, G.H., Phipps, M.E.  
The Influence of Low-Strength Concrete Beams on the Axial Load Capacity of Concrete Columns  
The Structural Engineer, Juni 1981, S. 17-26
- /35/ Kordina, K.; Blume, F.  
Empirische Zusammenhänge zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit stabförmiger Stahlbetonelemente  
Heft 364 des DAFStb, 1985
- /36/ Stroband, J.; Leguijt, M.  
Sterkte van Kruisverbindingen in gewapend Beton (The Behaviour of in situ Concrete X-Joints between Columns and Beams)  
Report des Stevin Laboratoriums der University of Technology in Delft, Oktober 1980, S. 87-89
- /37/ Bathe, K.J.; Ramaswamy, S.  
On Three-Dimensional Nonlinear Analysis of Concrete Structures  
Nuclear Engineering and Design 52, S. 305-409, 1979

- /38/ Popovics, S.  
A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain-Curve of Concrete  
Cement and Concrete Research, Vol. 3, S.583-599, 1979
- /39/ Thürlimann, B.; Bachmann, H.; Krauss, R.; Caflisch, R.;  
Heimgartner, E.  
Schubversuche an teilweise vorgespannten Balken  
Institut für Baustatik der ETH Zürich, Berichte Nr. 6504-2, 6504-3,  
6504-5, 6504-6
- /40/ Leonhardt, F.; Koch, R.; Rostasy, F.S.  
Schubversuche an Plattenbalken  
Heft 227 des DAfStb, 1973
- /41/ Kordina, K.; Hegger, J.  
Systematische Auswertung von Schubversuchen an Spannbetonbalken  
Heft 381 des DAfStb, 1987
- /42/ Walraven, J.  
Shear in Element without Shear Reinforcement  
CEB-Bulletin Nr. 146, April 1982
- /43/ Cervenka, V.; Gerstle, K.H.  
Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Panels  
Publication of IABSE, Vol.31 und Vol.32, 1972
- /44/ Cedolin, L.; Dei Poli, S.  
Finite Element Studies of Shear Critical RC-Beams  
Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. of the ASCE,  
Vol. 103, 1977
- /45/ DIN 1045  
Beton- und Stahlbeton - Bemessung und Ausführung  
Ausgabe Dezember 1978
- /46/ ACI-ASCE Committee 352  
Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Rein-  
forced Concrete Structures  
ACI Journal, Mai-Juni 1985, S. 266-283

- /47/ FIP-Recommendations**  
**Practical Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structure**  
**based on the CEB-FIP Model Code (MC 78) London, 1984**
- /48/ Grasser, E.; Thielen, G.**  
**Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von**  
**Stahlbetontragwerken**  
**Heft 240 des DAfStb, 1976**
- /49/ Schlaich, J.; Schäfer, K.; Jennewein, M.**  
**Towards a Consistent Design of Reinforced and Prestressed Concrete**  
**Bericht des Instituts für Massivbau der TU Stuttgart, Dezember 1986**
- /50/ Comité' Euro-International du Béton Ad-Hoc Commission IV/VI**  
**Contribution to the Revision of the CEB-MC 1990, Juni 1986**
- /51/ Kupfer, H.B.; Gerstle, K.H.**  
**Behavior of concrete under biaxial stresses**  
**Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of the**  
**ASCE, Vol 99, Aug. 1973, S. 853-866**
- /52/ Duddeck, H.; Bargstädt, H.-J.**  
**Zutreffendere Spannungszustände dicker Stahlbetonrahmen des Grund-**  
**und Tunnelbaus (Verbesserung der Rahmenstatik)**  
**Zwischenbericht des Instituts für Statik der TU Braunschweig, Ok-**  
**tober 1986**
- /53/ Bargstädt, H.-J.**  
**Berechnung dicker Stahlbetonrahmen mit beanspruchungsabhängigen An-**  
**sätzen der Steifigkeiten**  
**Dissertation, TU Braunschweig, 1988**
- /54/ Ernst, G.E.**  
**Plastic Hinging at the Intersection of Beams and Columns**  
**Journal of the ACI, Juni 1957, S. 1119-1144**
- /55/ Eurocode Nr.2: Design of Concrete Structures**  
**Part 1: General Rules and Rules for Buildings**  
**Final Draft, Dezember 1988**



## Positive Rahmenecken Normalbeton /RIEGEL/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D [cm]	B [cm]	H [cm]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	$\lambda_{n\sigma}$ [mm]	$\lambda_{m\sigma}$ [mm]	$\beta_{m2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta_{p2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	BEW.P	u [-]	$\gamma$ [-]	D/H [-]	D/B [-]	$\mu_1$ [-]	$\eta$ [-]
1	KORDINA /	V1-R	40	25	36.6	88.10	38.0	38.0	4 18	4 18	420.0	26.7	4111	.175	1.00	1.09	1.60	.099	5.796
2	WIEDEMANN	V2-R	40	25	37.6	133.30	57.5	57.5	2 10	3 18	435.0	23.9	6170	.148	.21	1.06	1.60	.158	5.796
3	/7/	V3-R	40	25	36.2	137.40	59.3	59.3	2 10	4 16	445.0	22.6	6110	.175	.20	1.10	1.60	.186	5.793
4		V4-R	40	25	37.2	123.00	53.0	53.0	2 12	4 16	445.0	26.1	6100	.147	.28	1.08	1.60	.136	5.802
5		V5-R	44	34	40.0	307.50	132.6	132.6	3 12	4 22	436.0	37.9	6110	.127	.22	1.10	1.28	.147	5.270
6		V6-R	44	34	39.5	274.50	118.4	118.4	3 12	4 22	436.0	38.2	6100	.127	.22	1.11	1.28	.133	5.269
7		V8-R	14	100	12.4	51.80	37.0	37.0	0 0	10 12	450.0	33.9	6170	.121	.00	1.19	.15	.099	9.524
8	SKETTRUP /	7701-R	47	22	41.3	106.00	.0	.0	2 25	2 25	597.0	18.1	6100	.342	1.00	1.15	2.07	.150	-
9	BRONDUM /	7702-R	47	22	42.6	99.00	.0	.0	2 20	2 20	573.0	13.9	6100	.271	1.00	1.11	2.11	.175	-
10	NIELSEN	7703-R	79	22	73.0	471.00	.0	.0	8 16	8 16	575.0	21.9	6100	.255	1.00	1.09	3.52	.178	-
11	/20/	7704-R	79	22	74.5	369.00	.0	.0	2 25	2 25	564.0	17.7	6100	.186	1.00	1.07	3.53	.166	-
12		8001-R-G	26	16	23.1	25.20	.0	.0	2 12	2 16	562.0	19.3	6100	.313	.56	1.13	1.60	.151	-
13		8002-R	26	16	23.1	38.20	.0	.0	2 12	2 16	589.0	17.2	7110	.368	.56	1.13	1.60	.257	-
14		8003-R	26	16	23.1	45.30	.0	.0	2 12	2 16	605.0	17.8	7110	.365	.56	1.13	1.60	.294	-
15		8004-R-G	26	16	23.2	48.50	.0	.0	2 12	2 16	631.0	16.9	2111	.399	.56	1.12	1.60	.329	-
16		8005-R	26	16	23.2	46.60	.0	.0	2 12	2 16	607.0	16.9	2111	.384	.56	1.12	1.60	.316	-
17		8201-R	26	16	23.1	48.50	.0	.0	2 12	2 16	645.0	16.3	7110	.425	.56	1.13	1.60	.344	-
18		8202-R	26	16	23.1	52.70	.0	.0	2 12	2 16	662.0	14.2	2111	.501	.56	1.13	1.60	.429	-
19		8203-R	26	16	22.8	49.10	.0	.0	2 12	2 16	650.0	17.2	7110	.411	.56	1.14	1.60	.339	-
20		8204-R	26	16	22.8	53.90	.0	.0	2 12	2 16	661.0	13.5	2111	.533	.56	1.14	1.60	.474	-
21		8205-R	26	16	22.8	44.10	.0	.0	2 8	2 16	644.0	15.6	7110	.449	.25	1.14	1.60	.336	-
22		8206-R	26	16	23.3	48.40	.0	.0	2 8	2 16	656.0	23.7	2111	.295	.25	1.12	1.60	.232	-
23		8207-R	26	16	22.8	48.10	.0	.0	2 8	2 16	655.0	17.9	7110	.398	.25	1.14	1.60	.319	-
24		8208-R	26	16	23.0	42.30	.0	.0	2 8	2 16	657.0	16.1	2111	.440	.25	1.13	1.60	.307	-
25	STROBAND /	B1-R	12	7	10.8	2.25	3.0	.0	2 6	2 6	504.0	19.0	4151	.198	1.00	1.11	1.71	.145	6.250
26	KOLPA	B2-R	12	7	10.8	2.40	3.3	.0	2 6	2 6	504.0	20.8	4111	.181	1.00	1.11	1.71	.141	6.061
27	/15/ + /21/	B3-R	12	7	10.8	1.97	2.7	.0	2 6	2 6	504.0	19.0	4101	.198	1.00	1.11	1.71	.127	6.080
28		B4-R	12	7	10.8	2.56	3.4	.0	2 6	2 6	504.0	22.0	6000	.171	1.00	1.11	1.71	.143	6.275
29		B5-R	12	7	10.8	2.72	3.6	.0	2 6	2 6	504.0	22.0	6000	.171	1.00	1.11	1.71	.151	6.296
30		B6-R	12	7	10.8	2.81	3.8	.0	2 6	2 6	504.0	20.8	6010	.181	1.00	1.11	1.71	.165	6.162
31		B7-R	12	7	10.8	2.53	3.4	.0	2 6	2 6	504.0	19.0	6050	.198	1.00	1.11	1.71	.163	6.201
32		B8-R	12	7	10.8	2.72	3.7	.0	2 6	2 6	504.0	20.8	6110	.181	1.00	1.11	1.71	.160	6.126
33		B9-R	12	7	10.8	2.72	3.7	.0	2 6	2 6	504.0	18.4	6100	.205	1.00	1.11	1.71	.181	6.126
34		B10-R	12	7	10.8	2.44	3.2	.0	2 6	2 6	504.0	22.0	6000	.171	1.00	1.11	1.71	.136	6.354
35		B11-R	12	7	10.8	2.63	3.5	.0	2 6	2 6	504.0	18.4	8100	.205	1.00	1.11	1.71	.175	6.262
36		B12-R	12	7	10.8	2.49	3.4	.0	2 6	2 6	504.0	18.4	8101	.205	1.00	1.11	1.71	.166	6.103
37		B13-R	12	7	10.8	.80	1.0	.0	2 6	2 6	504.0	10.4	4001	.362	1.00	1.11	1.71	.094	6.667
38		B14-R	12	7	10.8	1.88	2.5	.0	2 6	2 6	504.0	9.5	4011	.397	1.00	1.11	1.71	.242	6.267
39		B15-R	12	7	10.8	1.92	2.5	.0	2 6	2 6	504.0	11.3	4151	.334	1.00	1.11	1.71	.208	6.400
40		B16-R	12	7	10.8	2.15	3.0	.0	2 6	2 6	504.0	11.3	4111	.334	1.00	1.11	1.71	.233	5.972
41		B17-R	12	7	10.8	1.22	1.6	.0	2 6	2 6	504.0	11.2	4101	.337	1.00	1.11	1.71	.133	6.354
42		B18-R	12	7	10.8	1.99	2.6	.0	2 6	2 6	504.0	12.4	6000	.304	1.00	1.11	1.71	.197	6.378
43		B19-R	12	7	10.8	1.65	2.3	.0	2 6	2 6	504.0	11.1	6000	.340	1.00	1.11	1.71	.182	5.978
44		B20-R	12	7	10.8	1.79	2.3	.0	2 6	2 6	504.0	8.5	6010	.444	1.00	1.11	1.71	.258	6.486
45		B21-R	12	7	10.8	2.06	2.7	.0	2 6	2 6	504.0	9.5	6060	.397	1.00	1.11	1.71	.266	6.358
46		B22-R	12	7	10.8	2.25	3.1	.0	2 6	2 6	504.0	11.3	6110	.334	1.00	1.11	1.71	.244	6.048
47		B23-R	12	7	10.8	2.54	3.4	.0	2 6	2 6	504.0	12.0	6100	.314	1.00	1.11	1.71	.259	6.225
48		B24-R	12	7	10.8	1.77	2.3	.0	2 6	2 6	504.0	9.7	6000	.389	1.00	1.11	1.71	.223	6.413
49	NILSSON	U1-R	40	50	36.2	63.70	43.9	.0	3 10	5 16	406.0	37.9	4001	.059	.23	1.10	.80	.026	3.628
50	/4/	U2-R	30	50	26.2	36.70	26.2	.0	3 10	5 16	412.0	30.9	4001	.102	.23	1.15	.60	.035	4.669
51		U3-R	40	50	35.0	53.10	36.6	.0	3 10	3 25	398.0	36.6	4001	.092	.16	1.14	.80	.024	3.627
52		U11-R	25	35	22.5	22.00	19.6	.0	0 0	4 10	442.0	24.9	5000	.071	.00	1.11	.71	.050	4.490
53		U12-R	25	35	21.9	26.40	23.5	.0	0 0	4 12	429.0	29.6	5000	.086	.00	1.14	.71	.053	4.494
54		U13-R	25	35	21.9	37.00	22.9	.0	0 0	6 12	424.0	28.4	5000	.132	.00	1.14	.71	.078	4.498
55		U14-R	25	35	22.5	19.00	16.9	.0	0 0	4 10	431.0	32.0	3000	.054	.00	1.11	.71	.034	4.497

Positive Rahmenackern Normalbeton /RIEGEL/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D [cm]	B [cm]	H [cm]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	$\lambda_{s0}$ n [mm]	$\lambda_{s0}$ n [mm]	$\beta_{s0}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	BEW.F	u [-]	$\gamma$ [-]	D/H [-]	D/B [-]	$m_1$ [-]	$\eta$ [-]		
56		U15-R	25	35	21.9	23.90	21.2	.0	0	0	4	12	440.0	24.9	3000	.104	.00	1.14	.71	.057	4.509
57		U16-R	25	35	21.9	26.40	23.5	.0	0	0	6	12	415.0	25.4	3000	.145	.00	1.14	.71	.062	4.494
58		U20-R	25	35	22.5	11.00	9.8	.0	0	0	4	10	435.0	22.9	4000	.076	.00	1.11	.71	.027	4.490
59		U21-R	25	35	21.9	10.60	9.4	.0	0	0	4	12	425.0	28.3	4000	.089	.00	1.14	.71	.022	4.511
60		U22-R	25	35	21.9	13.00	11.6	.0	0	0	6	12	426.0	29.7	4000	.127	.00	1.14	.71	.026	4.483
61		U27-R	25	35	21.9	19.90	17.7	.0	0	0	4	12	407.0	23.1	1010	.104	.00	1.14	.71	.051	4.497
62		U28-R	25	35	21.9	27.10	24.1	.0	4	6	4	12	444.0	22.7	4011	.115	.25	1.14	.71	.071	4.498
63		UV1-R	25	35	21.9	34.90	31.0	.0	0	0	4	12	423.0	25.4	3102	.098	.00	1.14	.71	.082	4.503
64		UV2-R	25	35	21.9	34.40	30.6	.0	0	0	4	12	428.0	28.7	3102	.088	.00	1.14	.71	.071	4.497
65		U23-R	25	35	22.5	25.20	22.4	.0	0	0	4	10	457.0	25.4	6000	.072	.00	1.11	.71	.056	4.500
66		U24-R	25	35	21.9	30.00	26.7	.0	0	0	4	12	433.0	33.1	6000	.077	.00	1.14	.71	.054	4.494
67		U25-R	25	35	21.9	39.70	35.3	.0	0	0	6	12	414.0	26.8	6000	.137	.00	1.14	.71	.088	4.499
68		UV3-R	25	35	21.9	39.70	35.3	.0	0	0	4	12	436.0	26.5	6102	.097	.00	1.14	.71	.089	4.499
69		UV4-R	25	35	21.9	37.60	33.4	.0	0	0	4	12	425.0	23.1	6102	.109	.00	1.14	.71	.097	4.503
70		UV5-R	25	35	21.9	38.80	34.5	.0	0	0	4	12	422.0	28.0	6100	.089	.00	1.14	.71	.083	4.499
71		UV6-R	25	35	21.9	37.60	33.4	.0	0	0	4	12	413.0	24.3	6100	.100	.00	1.14	.71	.092	4.503
72		UV7-R	25	35	21.9	40.40	35.9	.0	0	0	4	12	413.0	28.3	6100	.086	.00	1.14	.71	.085	4.501
73		U50-R	25	35	22.5	44.10	39.2	.0	0	0	4	10	666.0	28.0	6100	.095	.00	1.11	.71	.089	4.500
74		U51-R	25	35	21.9	52.40	46.6	.0	0	0	4	12	658.0	29.3	6100	.133	.00	1.14	.71	.107	4.498
75		U52-R	25	35	22.5	31.00	27.6	.0	0	0	3	10	607.0	31.0	6100	.059	.00	1.11	.71	.056	4.493
76		U53-R	25	35	22.5	30.90	27.5	.0	0	0	3	10	652.0	24.8	6200	.079	.00	1.11	.71	.070	4.495
77		U54-R	25	35	22.5	34.20	30.6	.0	0	0	3	10	652.0	26.3	7100	.074	.00	1.11	.71	.073	4.471
78		U56-R	40	23	37.6	32.60	27.2	.0	0	0	3	8	480.0	23.5	6100	.034	.00	1.06	1.67	.041	2.996
79		U61-R	25	35	22.5	40.80	36.3	.0	4	10	4	10	652.0	23.0	6101	.113	1.00	1.11	.71	.100	4.496
80		U57-R	25	35	22.5	22.90	20.4	.0	0	0	3	10	594.0	30.3	6000	.059	.00	1.11	.71	.043	4.490
81		U59-R	25	35	21.9	37.40	33.2	.0	0	0	4	12	697.0	22.4	6000	.184	.00	1.14	.71	.099	4.506
82		U50c-R	25	35	21.9	36.20	32.2	.0	0	0	4	10	661.0	25.0	6100	.108	.00	1.14	.71	.086	4.497
83		U50d-R	25	35	21.9	39.80	35.4	.0	0	0	4	10	679.0	32.0	6100	.087	.00	1.14	.71	.074	4.497
84	SWANN	1-R	15	15	12.3	1.26	.0	1.1	0	0	2	19	295.0	20.2	1000	.443	.00	1.24	1.00	.027	-
85	/17/	2-R	15	15	12.3	1.73	.0	1.6	2	19	2	19	295.0	25.4	1001	.352	1.00	1.24	1.00	.030	-
86		3-R	15	15	12.3	2.90	.0	2.6	2	19	2	19	295.0	27.8	4001	.322	1.00	1.24	1.00	.045	-
87		4-R	15	15	12.3	5.82	.0	5.2	2	19	2	19	295.0	23.1	6070	.387	1.00	1.24	1.00	.110	-
88		5-R	15	15	12.3	6.26	.0	5.6	2	19	2	19	295.0	23.4	6170	.382	1.00	1.24	1.00	.116	-
89		6-R	15	15	12.3	9.54	.0	8.5	0	0	2	19	295.0	27.3	5070	.328	.00	1.24	1.00	.152	-
90		6'-R	15	15	12.3	8.76	.0	7.8	0	0	2	19	295.0	21.3	5070	.420	.00	1.24	1.00	.179	-
91		7-R	15	15	12.3	10.20	.0	9.1	2	19	2	19	295.0	23.5	5170	.381	1.00	1.24	1.00	.189	-
92		8-R	15	15	12.3	6.26	.0	5.6	2	19	2	19	295.0	23.8	5170	.376	1.00	1.24	1.00	.114	-
93		9-R	15	15	12.3	13.89	.0	12.4	2	19	2	19	295.0	22.9	1011	.391	1.00	1.24	1.00	.264	-
94		10-R	15	15	12.3	15.67	.0	14.0	2	19	2	19	295.0	23.1	1011	.387	1.00	1.24	1.00	.295	-
95		10'-R	15	15	12.3	14.28	.0	12.8	2	19	2	19	295.0	23.6	1011	.379	1.00	1.24	1.00	.263	-
96	BALINT /	NS004/1-R	15	15	13.3	3.32	.0	3.0	3	6	3	6	450.0	26.4	2001	.072	1.00	1.14	1.00	.047	-
97	TAYLOR	NS005-R	15	15	13.2	5.65	.0	5.0	2	8	2	8	450.0	48.9	1011	.046	1.00	1.15	1.00	.044	-
98	/13/	NS008/1-R	15	15	13.2	4.53	.0	4.0	3	10	2	10	450.0	35.8	2001	.098	1.50	1.15	1.00	.048	-
99		NS014/2-R	15	15	12.4	5.46	.0	4.9	3	12	2	12	450.0	23.5	2001	.230	1.50	1.23	1.00	.099	-
100		NS014/3-R	15	15	12.4	2.58	.0	2.3	4	12	2	12	450.0	18.7	4001	.289	2.00	1.23	1.00	.059	-
101		NS014/4-R	15	15	12.4	7.00	.0	6.3	2	6	2	12	450.0	35.7	5001	.151	.25	1.23	1.00	.084	-
102		NS014/5-R	15	15	12.4	12.40	.0	11.1	2	12	2	12	450.0	44.2	1011	.122	1.00	1.23	1.00	.120	-
103		NS020-R	15	15	12.7	8.56	.0	7.7	3	16	2	16	450.0	18.2	3001	.515	1.50	1.20	1.00	.192	-
104		NSM10/1-R	15	15	12.4	9.00	.0	8.1	2	12	2	12	450.0	26.4	3041	.205	1.00	1.23	1.00	.146	-
105		S1001-R	15	15	12.4	9.75	.0	8.7	2	12	2	12	450.0	24.7	3103	.219	1.00	1.23	1.00	.169	-
106		S1002-R	15	15	12.4	11.70	.0	10.5	2	12	2	12	450.0	40.8	3103	.132	1.00	1.23	1.00	.123	-
107		S10R2-R	15	15	12.4	10.65	.0	9.5	2	12	2	12	450.0	29.2	3113	.185	1.00	1.23	1.00	.156	-
108		S10M14/2-	15	15	12.4	9.15	.0	8.2	2	12	2	12	450.0	27.0	3043	.200	1.00	1.23	1.00	.145	-
109		S1501-R	15	15	12.4	12.50	.0	11.2	2	12	2	12	450.0	25.2	3103	.214	1.00	1.23	1.00	.212	-

A2

Positive Rahmenecken Normalbeton / RIEGEL/																			
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{s1}$	$\lambda_{s2}$	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_1$	$\eta$
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
110		S15R1-R	15	15	12.4	11.70	.0	10.4	2 12	2 12	450.0	26.4	3113	.205	1.00	1.23	1.00	.190	- -
111		S15M14/2-	15	15	12.4	10.40	.0	9.3	2 12	2 12	450.0	28.1	3043	.192	1.00	1.23	1.00	.158	- -
112		S15M10/1-	15	15	12.4	14.00	.0	12.5	2 12	2 12	450.0	26.7	3043	.202	1.00	1.23	1.00	.224	- -
113	NOOR	A1-R	15	80	13.0	18.80	.0	30.1	8 10	8 10	433.0	49.3	4071	.053	1.00	1.15	.19	.028	- -
114	/19/	A1R-R	15	80	13.5	18.40	.0	29.5	8 10	8 10	433.0	53.6	4071	.047	1.00	1.11	.19	.024	- -
115		A2-R	15	80	13.7	23.90	.0	38.2	8 12	8 12	455.0	43.4	4071	.087	1.00	1.09	.19	.037	- -
116		A3-R	15	80	13.3	18.60	.0	29.8	8 8	8 8	448.0	54.4	4071	.031	1.00	1.13	.19	.024	- -
117		A4-R	15	80	13.3	16.80	.0	26.9	11 10	11 10	433.0	39.1	4071	.090	1.00	1.13	.19	.030	- -
118		B1-R	15	80	13.3	31.40	.0	50.3	8 10	8 10	433.0	45.0	6070	.057	1.00	1.13	.19	.049	- -
119		B2-R	15	80	13.6	39.00	.0	62.4	8 12	8 12	455.0	59.5	6070	.064	1.00	1.10	.19	.044	- -
120		B3-R	15	80	13.1	27.90	.0	44.6	8 8	8 8	448.0	37.4	6070	.046	1.00	1.15	.19	.054	- -
121		B4R-R	15	80	13.3	40.00	.0	64.0	11 10	11 10	433.0	46.7	6070	.075	1.00	1.13	.19	.061	- -
122		B5-R	15	80	12.9	23.30	.0	37.2	6 10	6 10	433.0	34.8	6070	.057	1.00	1.16	.19	.050	- -
123		B6-R	15	80	13.2	58.10	.0	92.9	19 10	19 10	416.0	34.8	6070	.169	1.00	1.14	.19	.120	- -
124		B7R-R	15	80	13.2	40.70	.0	65.0	11 10	11 10	416.0	31.5	6070	.108	1.00	1.14	.19	.093	- -
125		BD1-R	15	80	13.2	32.40	.0	51.9	11 8	11 8	498.0	32.3	5171	.081	1.00	1.14	.19	.072	- -
126		BD2-R	15	80	13.2	73.50	.0	117.5	19 10	19 10	416.0	37.4	5171	.157	1.00	1.14	.19	.141	- -
127		C1-R	15	80	13.2	33.30	.0	53.2	11 8	11 8	498.0	30.6	3071	.085	1.00	1.14	.19	.078	- -
128		C2-R	15	80	13.2	45.40	.0	72.6	19 10	19 10	416.0	30.6	3071	.192	1.00	1.14	.19	.106	- -
129		CD1-R	15	80	13.2	28.10	.0	44.9	11 8	11 8	498.0	26.4	3171	.099	1.00	1.14	.19	.076	- -
130		CD2-R	15	80	13.2	62.00	.0	99.2	19 10	19 10	416.0	33.2	3171	.177	1.00	1.14	.19	.134	- -
131		CD1R-R	15	80	13.2	28.10	.0	44.9	11 8	11 8	498.0	32.3	3171	.081	1.00	1.14	.19	.062	- -
132	DOMINGUES	V1-R	15	30	12.5	11.44	.0	17.6	0 0	3 10	447.0	21.0	6000	.134	.00	1.20	.50	.116	- -
133	/22/	V2-R	15	30	12.5	11.57	.0	17.8	0 0	3 10	447.0	24.0	6070	.117	.00	1.20	.50	.103	- -
134		V3-R	15	30	12.5	11.90	.0	18.3	0 0	3 10	464.0	21.0	6170	.139	.00	1.20	.50	.121	- -
135		V4-R	15	30	12.5	11.96	.0	18.4	0 0	3 10	467.0	26.0	6170	.113	.00	1.20	.50	.098	- -
136		V5-R	15	30	12.5	13.33	.0	20.5	0 0	3 10	521.0	24.0	6170	.136	.00	1.20	.50	.118	- -
137		V6-R	15	30	12.5	12.94	.0	19.9	0 0	3 10	513.0	19.0	6170	.170	.00	1.20	.50	.145	- -
138		V7-R	15	30	12.5	12.03	.0	18.5	0 0	3 10	466.0	24.0	6170	.122	.00	1.20	.50	.107	- -
139		V8-R	15	30	12.5	12.22	.0	18.8	0 0	3 10	478.0	21.0	6170	.143	.00	1.20	.50	.124	- -
140		V9-R	15	30	12.5	13.20	.0	20.3	0 0	3 10	509.0	24.0	6172	.133	.00	1.20	.50	.117	- -
141		V10-R	15	30	12.5	12.55	.0	19.3	0 0	3 10	503.0	22.0	6172	.144	.00	1.20	.50	.122	- -
142		V11-R	15	30	12.5	12.48	.0	19.2	0 0	3 10	495.0	21.0	6172	.148	.00	1.20	.50	.127	- -
143		V12-R	15	30	12.5	12.74	.0	19.6	0 0	3 10	494.0	21.0	6172	.148	.00	1.20	.50	.129	- -
144		V13-R	15	30	12.5	12.87	.0	19.8	0 0	3 10	506.0	25.0	6172	.127	.00	1.20	.50	.110	- -
145		V14-R	15	30	12.5	13.13	.0	20.2	0 0	3 10	503.0	30.0	6172	.105	.00	1.20	.50	.093	- -
146		V15-R	15	30	12.5	13.00	.0	20.0	0 0	3 10	510.0	27.0	5000	.119	.00	1.20	.50	.103	- -
147		V16-R	15	30	12.5	11.44	.0	17.6	0 0	3 10	447.0	25.0	5070	.112	.00	1.20	.50	.098	- -
148	KORDINA /	E1-R	14	70	12.4	26.90	22.6	22.6	0 0	6 12	475.0	30.0	6070	.124	.00	1.13	.20	.083	8.502
149	FUCHS	E2-R	14	70	12.4	26.90	22.6	22.6	0 0	6 12	475.0	29.1	6070	.128	.00	1.13	.20	.086	8.502
150	/14/	E3-R	14	70	12.4	28.60	24.0	24.0	0 0	6 12	475.0	24.7	5070	.150	.00	1.13	.20	.108	8.512
151		E4-R	14	70	12.4	29.80	25.0	25.0	0 0	6 12	475.0	23.8	5070	.156	.00	1.13	.20	.116	8.514
152		E5-R	14	70	12.4	30.30	25.5	25.5	0 0	6 12	475.0	24.7	6270	.150	.00	1.13	.20	.114	8.487
153		E6-R	14	70	12.4	40.40	33.9	33.9	0 0	6 12	475.0	23.6	6270	.157	.00	1.13	.20	.159	8.512
154	REHM /	A1-R	10	75	8.0	1.71	2.9	2.9	6 10	6 10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.027	5.897
155	STOCKER	A2-R	10	75	8.0	1.81	3.1	3.1	6 10	6 10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.028	5.839
156	/23/	A3-R	10	75	8.0	2.01	3.5	3.5	6 10	6 10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.031	5.743
157		A4-R	10	75	8.0	1.81	3.1	3.1	6 10	6 10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.028	5.839
158		A5-R	10	75	8.0	2.77	4.8	4.8	6 10	6 10	420.0	28.4	2300	.116	1.00	1.25	.13	.020	5.771
159		A6-R	10	75	8.0	3.06	5.3	5.3	6 10	6 10	420.0	28.4	2300	.116	1.00	1.25	.13	.022	5.774
160		B1-R	10	75	8.0	4.24	6.3	6.3	6 10	6 10	420.0	24.7	2400	.134	1.00	1.25	.13	.036	6.730
161		B2-R	10	75	8.0	4.53	6.7	6.7	6 10	6 10	420.0	24.7	2400	.134	1.00	1.25	.13	.038	6.761

Positive Rahmenecken Normalbeton /Stiel/										$\lambda_{s,0}$		$\lambda_{p,0}$		BEW.F		u	$\gamma$	D/H	D/B	$\mu_y$	$\eta$
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{s,0}$ (mm)	$\lambda_{p,0}$ (mm)	$\beta_{s,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_{p,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )									
1	KORDINA /	V1-S	40	25	36.6	88.10	38.0	38.0	4 18	4 18	420.0	26.7	4111	.175	1.00	1.09	1.60	.099	5.796		
2	WIEDEMANN	V2-S	40	25	37.6	133.30	57.5	57.5	2 10	3 18	435.0	23.9	6170	.148	.21	1.06	1.60	.158	5.796		
3	/7/	V3-S	40	28	36.2	137.40	59.3	59.3	2 10	4 16	445.0	22.6	6110	.156	.20	1.10	1.43	.166	5.793		
4		V4-S	40	25	37.2	123.00	53.0	53.0	2 12	4 16	445.0	26.1	6100	.147	.28	1.08	1.60	.136	5.802		
5		V5-S	44	34	40.0	307.50	132.6	132.6	3 12	4 22	436.0	37.9	6110	.127	.22	1.10	1.28	.147	5.270		
6		V6-S	44	34	39.5	274.50	118.4	118.4	3 12	4 22	436.0	38.2	6100	.127	.22	1.11	1.28	.133	5.269		
7		V8-S	14	100	12.4	51.80	37.0	37.0	0 0	10 12	450.0	33.9	6170	.121	.00	1.19	.15	.099	9.524		
8	SKETTRUP /	7701-S	47	22	41.3	106.00	.0	.0	2 25	2 25	597.0	18.1	6100	.342	1.00	1.15	2.07	.150	-		
9	BRONDUM /	7702-S	47	22	42.6	99.00	.0	.0	2 20	2 20	573.0	13.9	6100	.271	1.00	1.11	2.11	.175	-		
10	NIELSEN	7703-S	79	22	73.0	471.00	.0	.0	8 16	8 16	575.0	21.9	6100	.255	1.00	1.09	3.52	.178	-		
11	/20/	7704-S	79	22	74.5	369.00	.0	.0	2 25	2 25	564.0	17.7	6100	.186	1.00	1.07	3.53	.166	-		
12		8001-S-G	26	16	23.1	25.20	.0	.0	2 12	2 16	562.0	19.3	6100	.313	.56	1.13	1.60	.151	-		
13		8002-S	26	16	23.1	38.20	.0	.0	2 12	2 16	589.0	17.2	7110	.368	.56	1.13	1.60	.257	-		
14		8003-S	26	16	23.1	45.30	.0	.0	2 12	2 16	605.0	17.8	7110	.365	.56	1.13	1.60	.294	-		
15		8004-S-G	26	16	23.2	48.50	.0	.0	2 12	2 16	631.0	16.9	2111	.399	.56	1.12	1.60	.329	-		
16		8005-S	26	16	23.2	46.60	.0	.0	2 12	2 16	607.0	16.9	2111	.384	.56	1.12	1.60	.316	-		
17		8201-S	26	16	23.1	48.50	.0	.0	2 12	2 16	645.0	16.3	7110	.425	.56	1.13	1.60	.344	-		
18		8202-S	26	16	23.1	52.70	.0	.0	2 12	2 16	662.0	14.2	2111	.501	.56	1.13	1.60	.429	-		
19		8203-S	26	16	22.8	49.10	.0	.0	2 12	2 16	650.0	17.2	7110	.411	.56	1.14	1.60	.339	-		
20		8204-S	26	16	22.8	53.90	.0	.0	2 12	2 16	661.0	13.5	2111	.533	.56	1.14	1.60	.474	-		
21		8205-S	26	16	22.8	44.10	.0	.0	2 8	2 16	644.0	15.6	7110	.449	.25	1.14	1.60	.336	-		
22		8206-S	26	16	23.3	48.40	.0	.0	2 8	2 16	656.0	23.7	2111	.295	.25	1.12	1.60	.232	-		
23		8207-S	26	16	22.8	48.10	.0	.0	2 8	2 16	655.0	17.9	7110	.398	.25	1.14	1.60	.319	-		
24		8208-S	26	16	23.0	42.30	.0	.0	2 8	2 16	657.0	16.1	2111	.440	.25	1.13	1.60	.307	-		
25	STROBAND /	B1-S	12	7	10.8	2.06	.0	3.0	2 6	2 6	504.0	19.0	4151	.198	1.00	1.11	1.71	.133	-		
26	KOLPA	B2-S	12	7	10.8	2.20	.0	3.3	2 6	2 6	504.0	20.8	4111	.181	1.00	1.11	1.71	.130	-		
27	/15/ +/21/	B3-S	12	7	10.8	1.80	.0	2.7	2 6	2 6	504.0	19.0	4101	.198	1.00	1.11	1.71	.116	-		
28		B4-S	12	7	10.8	2.35	.0	3.4	2 6	2 6	504.0	22.0	6000	.171	1.00	1.11	1.71	.131	-		
29		B5-S	12	7	10.8	2.49	.0	3.6	2 6	2 6	504.0	22.0	6000	.171	1.00	1.11	1.71	.139	-		
30		B6-S	12	7	10.8	2.57	.0	3.8	2 6	2 6	504.0	20.8	6010	.181	1.00	1.11	1.71	.151	-		
31		B7-S	12	7	10.8	2.32	.0	3.4	2 6	2 6	504.0	19.0	6050	.198	1.00	1.11	1.71	.150	-		
32		B8-S	12	7	10.8	2.49	.0	3.7	2 6	2 6	504.0	20.8	6110	.181	1.00	1.11	1.71	.147	-		
33		B9-S	12	7	10.8	2.49	.0	3.7	2 6	2 6	504.0	18.4	6100	.205	1.00	1.11	1.71	.166	-		
34		B10-S	12	7	10.8	2.24	.0	3.2	2 6	2 6	504.0	22.0	6000	.171	1.00	1.11	1.71	.125	-		
35		B11-S	12	7	10.8	2.41	.0	3.5	2 6	2 6	504.0	18.4	8100	.205	1.00	1.11	1.71	.160	-		
36		B12-S	12	7	10.8	2.28	.0	3.4	2 6	2 6	504.0	18.4	8101	.205	1.00	1.11	1.71	.152	-		
37		B13-S	12	7	10.8	.73	.0	1.0	2 6	2 6	504.0	10.4	4001	.362	1.00	1.11	1.71	.086	-		
38		B14-S	12	7	10.8	1.72	.0	2.5	2 6	2 6	504.0	9.5	4011	.397	1.00	1.11	1.71	.222	-		
39		B15-S	12	7	10.8	1.76	.0	2.5	2 6	2 6	504.0	11.3	4151	.334	1.00	1.11	1.71	.191	-		
40		B16-S	12	7	10.8	1.97	.0	3.0	2 6	2 6	504.0	11.3	4111	.334	1.00	1.11	1.71	.214	-		
41		B17-S	12	7	10.8	1.12	.0	1.6	2 6	2 6	504.0	11.2	4101	.337	1.00	1.11	1.71	.122	-		
42		B18-S	12	7	10.8	1.82	.0	2.6	2 6	2 6	504.0	12.4	6000	.304	1.00	1.11	1.71	.180	-		
43		B19-S	12	7	10.8	1.51	.0	2.3	2 6	2 6	504.0	11.1	6000	.340	1.00	1.11	1.71	.167	-		
44		B20-S	12	7	10.8	1.64	.0	2.3	2 6	2 6	504.0	8.5	6010	.444	1.00	1.11	1.71	.236	-		
45		B21-S	12	7	10.8	1.89	.0	2.7	2 6	2 6	504.0	9.5	6060	.397	1.00	1.11	1.71	.244	-		
46		B22-S	12	7	10.8	2.06	.0	3.1	2 6	2 6	504.0	11.3	6110	.334	1.00	1.11	1.71	.223	-		
47		B23-S	12	7	10.8	2.33	.0	3.4	2 6	2 6	504.0	12.0	6100	.314	1.00	1.11	1.71	.238	-		
48		B24-S	12	7	10.8	1.62	.0	2.3	2 6	2 6	504.0	9.7	6000	.389	1.00	1.11	1.71	.205	-		
49	NILSSON	U1-S	30	50	26.2	54.90	.0	43.9	3 10	5 16	423.0	37.9	4001	.086	.23	1.15	.60	.042	-		
50	/4/	U2-S	30	50	26.2	32.70	.0	26.2	3 10	5 16	412.0	30.9	4001	.102	.23	1.15	.60	.031	-		
51		U3-S	30	50	25.0	54.80	.0	36.6	3 10	3 25	398.0	36.6	4001	.128	.16	1.20	.60	.048	-		
52		U11-S	20	35	17.5	19.60	.0	19.6	0 0	4 10	442.0	24.9	5000	.091	.00	1.14	.57	.073	-		
53		U12-S	20	35	16.9	23.50	.0	23.5	0 0	4 12	429.0	29.6	5000	.111	.00	1.18	.57	.079	-		
54		U13-S	20	35	16.9	32.90	.0	32.9	0 0	6 12	424.0	28.4	5000	.171	.00	1.18	.57	.116	-		
55		U14-S	20	35	17.5	16.90	.0	16.9	0 0	4 10	431.0	32.0	3000	.069	.00	1.14	.57	.049	-		

Positive Rahmenecken Normalbeton /Stiel/										$\lambda_{s1}$		$\lambda_{s2}$		$\lambda_{s1}$		$\lambda_{s2}$		BEW.F		$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_1$	$\eta$
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q		$n$	$\sigma$	$n$	$\sigma$	$n$	$\sigma$	$n$	$\sigma$								
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)		(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )										
56		U15-S	20	35	16.9	21.20	.0	21.2		0	0	4	12	440.0	24.9	3000	.135	.00	1.18	.57	.085	-	-		
57		U16-S	20	35	16.9	23.50	.0	23.5		0	0	6	12	415.0	25.4	3000	.187	.00	1.18	.57	.093	-	-		
58		U20-S	20	35	17.5	9.80	.0	9.8		0	0	4	10	435.0	22.9	4000	.097	.00	1.14	.57	.040	-	-		
59		U21-S	20	35	16.9	9.40	.0	9.4		0	0	4	12	425.0	28.3	4000	.115	.00	1.18	.57	.033	-	-		
60		U22-S	20	35	16.9	11.60	.0	11.6		0	0	6	12	426.0	29.7	4000	.165	.00	1.18	.57	.039	-	-		
61		U27-S	20	35	16.9	17.70	.0	17.7		0	0	4	12	407.0	23.1	1010	.135	.00	1.18	.57	.077	-	-		
62		U28-S	20	35	16.9	24.10	.0	24.1		4	6	4	12	444.0	22.7	4011	.150	.25	1.18	.57	.106	-	-		
63		UV1-S	20	35	16.9	31.00	.0	31.0		0	0	4	12	423.0	25.4	3102	.127	.00	1.18	.57	.122	-	-		
64		UV2-S	20	35	16.9	30.60	.0	30.6		0	0	4	12	428.0	28.7	3102	.114	.00	1.18	.57	.107	-	-		
65		U23-S	20	35	17.5	22.40	.0	22.4		0	0	4	10	446.0	25.4	6000	.090	.00	1.14	.57	.082	-	-		
66		U24-S	20	35	16.9	26.70	.0	26.7		0	0	4	12	433.0	33.1	6000	.100	.00	1.18	.57	.081	-	-		
67		U25-S	20	35	16.9	35.30	.0	35.3		0	0	6	12	414.0	26.8	6000	.177	.00	1.18	.57	.132	-	-		
68		UV3-S	20	35	16.9	35.30	.0	35.3		0	0	4	12	436.0	26.5	6102	.126	.00	1.18	.57	.133	-	-		
69		UV4-S	20	35	16.9	33.40	.0	33.4		0	0	4	12	415.0	23.1	6102	.137	.00	1.18	.57	.145	-	-		
70		UV5-S	20	35	16.9	34.50	.0	34.5		0	0	4	12	422.0	28.0	6100	.115	.00	1.18	.57	.123	-	-		
71		UV6-S	20	35	16.9	33.40	.0	33.4		0	0	4	12	413.0	24.3	6100	.130	.00	1.18	.57	.137	-	-		
72		UV7-S	20	35	16.9	35.90	.0	35.9		0	0	4	12	413.0	28.3	6100	.112	.00	1.18	.57	.127	-	-		
73		U50-S	20	35	17.5	39.20	.0	39.2		0	0	4	10	666.0	28.0	6100	.122	.00	1.14	.57	.131	-	-		
74		U51-S	20	35	16.9	46.60	.0	46.6		0	0	4	12	658.0	29.3	6100	.172	.00	1.18	.57	.159	-	-		
75		U52-S	20	35	17.5	27.60	.0	27.6		0	0	3	10	607.0	31.0	6100	.075	.00	1.14	.57	.083	-	-		
76		U53-S	20	35	17.5	27.50	.0	27.5		0	0	3	10	652.0	24.8	6200	.101	.00	1.14	.57	.103	-	-		
77		U54-S	20	35	17.5	30.60	.0	30.6		0	0	3	10	652.0	26.3	7100	.095	.00	1.14	.57	.109	-	-		
78		U56-S	20	23	17.5	27.20	.0	27.2		0	0	3	10	603.0	23.5	6100	.145	.00	1.14	.84	.158	-	-		
79		U61-S	20	35	17.5	36.30	.0	36.3		4	10	4	10	631.0	23.0	6101	.141	1.00	1.14	.57	.147	-	-		
80		U57-S	20	35	17.5	20.40	.0	20.4		0	0	3	10	594.0	30.3	6000	.075	.00	1.14	.57	.063	-	-		
81		U59-S	20	35	16.9	33.20	.0	33.2		0	0	4	12	697.0	22.4	6000	.238	.00	1.18	.57	.148	-	-		
82		U50c-S	20	35	16.9	32.20	.0	32.2		0	0	4	10	656.0	25.0	6100	.139	.00	1.18	.57	.129	-	-		
83		U50d-S	20	35	16.9	35.40	.0	35.4		0	0	4	10	679.0	32.0	6100	.113	.00	1.18	.57	.111	-	-		
84	SWANN	1-S	15	15	12.3	1.26	1.1	.0		0	0	2	19	295.0	20.2	1000	.443	.00	1.24	1.00	.027	-	-	7.536	
85	/17/	2-S	15	15	12.3	1.73	1.6	.0		2	19	2	19	295.0	25.4	1001	.352	1.00	1.24	1.00	.030	-	-	7.113	
86		1-S	15	15	12.3	2.90	2.6	.0		2	19	2	19	295.0	27.8	4001	.322	1.00	1.24	1.00	.045	-	-	7.338	
87		4-S	15	15	12.3	5.82	5.2	.0		2	19	2	19	295.0	23.1	6070	.387	1.00	1.24	1.00	.110	-	-	7.363	
88		5-S	15	15	12.3	6.26	5.6	.0		2	19	2	19	295.0	23.4	6170	.382	1.00	1.24	1.00	.116	-	-	7.354	
89		6-S	15	15	12.3	9.54	8.5	.0		0	0	2	19	295.0	27.3	5070	.328	.00	1.24	1.00	.152	-	-	7.384	
90		6'-S	15	15	12.3	8.76	7.8	.0		0	0	2	19	295.0	21.3	5070	.420	.00	1.24	1.00	.179	-	-	7.389	
91		7-S	15	15	12.3	10.20	9.1	.0		2	19	2	19	295.0	23.5	5170	.381	1.00	1.24	1.00	.189	-	-	7.374	
92		8-S	15	15	12.3	6.26	5.6	.0		2	19	2	19	295.0	23.8	5170	.376	1.00	1.24	1.00	.114	-	-	7.354	
93		9-S	15	15	12.3	13.89	12.4	.0		2	19	2	19	295.0	22.9	1011	.391	1.00	1.24	1.00	.264	-	-	7.369	
94		10-S	15	15	12.3	15.67	14.0	.0		2	19	2	19	295.0	23.1	1011	.387	1.00	1.24	1.00	.295	-	-	7.364	
95		10'-S	15	15	12.3	14.28	12.8	.0		2	19	2	19	295.0	23.6	1011	.379	1.00	1.24	1.00	.263	-	-	7.340	
96	BALINT /	NS004/1-S	15	15	13.3	3.55	3.0	.0		3	6	3	6	450.0	26.4	2001	.072	1.00	1.14	1.00	.050	-	-	7.785	
97	TAYLOR	NS005-S	15	15	13.2	6.03	5.1	.0		2	8	2	8	450.0	48.9	1011	.046	1.00	1.15	1.00	.047	-	-	7.779	
98	/13/	NS008/1-S	15	15	13.2	4.84	4.1	.0		3	10	2	10	450.0	35.8	2001	.098	1.50	1.15	1.00	.051	-	-	7.766	
99		NS014/2-S	15	15	12.4	5.83	4.9	.0		3	12	2	12	450.0	23.5	2001	.230	1.50	1.23	1.00	.106	-	-	7.828	
100		NS014/3-S	15	15	12.4	2.76	2.3	.0		4	12	2	12	450.0	18.7	4001	.289	2.00	1.23	1.00	.063	-	-	7.895	
101		NS014/4-S	15	15	12.4	7.48	6.3	.0		2	6	2	12	450.0	35.7	5001	.151	.25	1.23	1.00	.090	-	-	7.811	
102		NS014/5-S	15	15	12.4	13.24	11.1	.0		2	12	2	12	450.0	44.2	1011	.122	1.00	1.23	1.00	.128	-	-	7.847	
103		NS020-S	15	15	12.7	9.14	7.7	.0		3	16	2	16	450.0	18.2	3001	.515	1.50	1.20	1.00	.205	-	-	7.809	
104		NSM10/1-S	15	15	12.4	9.61	8.1	.0		2	12	2	12	450.0	26.4	3041	.205	1.00	1.23	1.00	.156	-	-	7.805	
105		S1001-S	15	15	12.4	10.41	8.7	.0		2	12	2	12	450.0	24.7	3103	.219	1.00	1.23	1.00	.180	-	-	7.872	
106		S1002-S	15	15	12.4	12.50	10.5	.0		2	12	2	12	450.0	40.8	3103	.132	1.00	1.23	1.00	.131	-	-	7.832	
107		S10R2-S	1																						

Positive Rahmenecken Normalbeton /Stiel/																						
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{s1}$ n		$\lambda_{s2}$ n		$\beta_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_p$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	u (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$\mu_1$ (-)	$\eta$ (-)	
110	NOOR /19/	S15R1-S	15	15	12.4	12.50	10.4	.0	2	12	2	12	450.0	26.4	3113	.205	1.00	1.23	1.00	.203	7.907	
111		S15M14/2-	15	15	12.4	11.11	9.3	.0	2	12	2	12	450.0	28.1	3043	.192	1.00	1.23	1.00	.169	7.859	
112		S15M10/1-	15	15	12.4	14.95	12.5	.0	2	12	2	12	450.0	26.7	3043	.202	1.00	1.23	1.00	.240	7.868	
113		A1-S	15	80	13.0	21.06	30.1	.0	8	10	8	10	433.0	49.3	4071	.053	1.00	1.15	.19	.032	4.664	
114		A1R-S	15	80	13.5	20.61	29.5	.0	8	10	8	10	433.0	53.6	4071	.047	1.00	1.11	.19	.026	4.658	
115		A2-S	15	80	13.7	26.77	38.2	.0	8	12	8	12	455.0	43.4	4071	.087	1.00	1.09	.19	.041	4.672	
116		A3-S	15	80	13.3	20.83	29.8	.0	8	8	8	8	448.0	54.4	4071	.031	1.00	1.13	.19	.027	4.660	
117		A4-S	15	80	13.3	18.82	26.9	.0	11	10	11	10	433.0	39.1	4071	.090	1.00	1.13	.19	.034	4.664	
118		B1-S	15	80	13.3	35.17	50.3	.0	8	10	8	10	433.0	45.0	6070	.057	1.00	1.13	.19	.055	4.661	
119		B2-S	15	80	13.6	43.68	62.4	.0	8	12	8	12	455.0	59.5	6070	.064	1.00	1.10	.19	.050	4.667	
120	DOMINGUES /22/	B3-S	15	80	13.1	31.25	44.6	.0	8	8	8	8	448.0	37.4	6070	.046	1.00	1.15	.19	.061	4.671	
121		B4R-S	15	80	13.3	44.80	64.0	.0	11	10	11	10	433.0	46.7	6070	.075	1.00	1.13	.19	.068	4.667	
122		B5-S	15	80	12.9	26.10	37.2	.0	6	10	6	10	433.0	34.8	6070	.057	1.00	1.16	.19	.056	4.677	
123		B6-S	15	80	13.2	65.07	92.9	.0	19	10	19	10	416.0	34.8	6070	.169	1.00	1.14	.19	.134	4.670	
124		B7R-S	15	80	13.2	45.58	63.0	.0	11	10	11	10	416.0	31.5	6070	.108	1.00	1.14	.19	.104	4.675	
125		BD1-S	15	80	13.2	36.29	51.9	.0	11	8	11	8	498.0	32.3	5171	.081	1.00	1.14	.19	.081	4.662	
126		BD2-S	15	80	13.2	82.32	117.5	.0	19	10	19	10	416.0	37.4	5171	.157	1.00	1.14	.19	.158	4.671	
127		C1-S	15	80	13.2	37.30	53.2	.0	11	8	11	8	498.0	30.6	3071	.085	1.00	1.14	.19	.087	4.674	
128		C2-S	15	80	13.2	50.85	72.6	.0	19	10	19	10	416.0	30.6	3071	.192	1.00	1.14	.19	.119	4.669	
129		CD1-S	15	80	13.2	31.47	44.9	.0	11	8	11	8	498.0	26.4	3171	.099	1.00	1.14	.19	.086	4.673	
130	CD2-S	15	80	13.2	69.44	99.2	.0	19	10	19	10	416.0	33.2	3171	.177	1.00	1.14	.19	.150	4.667		
131	CD1R-S	15	80	13.2	31.47	44.9	.0	11	8	11	8	498.0	32.3	3171	.081	1.00	1.14	.19	.070	4.673		
132	KORDINA / FUCHS /14/	V1-S	15	30	12.5	12.76	17.6	.0	0	0	3	10	447.0	21.0	6000	.134	.00	1.20	.50	.130	4.833	
133		V2-S	15	30	12.5	12.90	17.8	.0	0	0	3	10	447.0	24.0	6070	.117	.00	1.20	.50	.115	4.831	
134		V3-S	15	30	12.5	13.27	18.3	.0	0	0	3	10	464.0	21.0	6170	.139	.00	1.20	.50	.135	4.834	
135		V4-S	15	30	12.5	13.34	18.4	.0	0	0	3	10	467.0	26.0	6170	.113	.00	1.20	.50	.109	4.833	
136		V5-S	15	30	12.5	14.87	20.5	.0	0	0	3	10	521.0	24.0	6170	.136	.00	1.20	.50	.132	4.836	
137		V6-S	15	30	12.5	14.43	19.9	.0	0	0	3	10	513.0	19.0	6170	.170	.00	1.20	.50	.162	4.834	
138		V7-S	15	30	12.5	13.42	18.5	.0	0	0	3	10	466.0	24.0	6170	.122	.00	1.20	.50	.119	4.836	
139		V8-S	15	30	12.5	13.63	18.8	.0	0	0	3	10	478.0	21.0	6170	.143	.00	1.20	.50	.138	4.833	
140		V9-S	15	30	12.5	14.72	20.3	.0	0	0	3	10	509.0	24.0	6172	.133	.00	1.20	.50	.131	4.834	
141		V10-S	15	30	12.5	14.00	19.3	.0	0	0	3	10	503.0	22.0	6172	.144	.00	1.20	.50	.136	4.836	
142	REHM / STOCKER /23/	V11-S	15	30	12.5	13.92	19.2	.0	0	0	3	10	495.0	21.0	6172	.148	.00	1.20	.50	.141	4.833	
143		V12-S	15	30	12.5	14.21	19.6	.0	0	0	3	10	494.0	21.0	6172	.148	.00	1.20	.50	.144	4.833	
144		V13-S	15	30	12.5	14.35	19.8	.0	0	0	3	10	506.0	25.0	6172	.127	.00	1.20	.50	.122	4.832	
145		V14-S	15	30	12.5	14.64	20.2	.0	0	0	3	10	503.0	30.0	6172	.105	.00	1.20	.50	.104	4.832	
146		V15-S	15	30	12.5	14.50	20.0	.0	0	0	3	10	510.0	27.0	5000	.119	.00	1.20	.50	.115	4.833	
147		V16-S	15	30	12.5	12.76	17.6	.0	0	0	3	10	447.0	25.0	5070	.112	.00	1.20	.50	.109	4.833	
148		E1-S	14	70	12.4	26.90	22.6	22.6	22.6	0	0	6	12	475.0	30.0	6070	.124	.00	1.13	.20	.083	8.502
149		E2-S	14	70	12.4	26.90	22.6	22.6	22.6	0	0	6	12	475.0	29.1	6070	.128	.00	1.13	.20	.086	8.502
150		E3-S	14	70	12.4	28.60	24.0	24.0	24.0	0	0	6	12	475.0	24.7	5070	.150	.00	1.13	.20	.108	8.512
151		E4-S	14	70	12.4	29.80	25.0	25.0	25.0	0	0	6	12	475.0	23.8	5070	.156	.00	1.13	.20	.116	8.514
152	REHM / STOCKER /23/	E5-S	14	70	12.4	30.30	25.5	25.5	0	0	6	12	475.0	24.7	6270	.150	.00	1.13	.20	.114	8.487	
153		E6-S	14	70	12.4	40.40	33.9	33.9	33.9	0	0	6	12	475.0	23.6	6270	.157	.00	1.13	.20	.159	8.512
154		A1-S	10	75	8.0	1.71	2.9	2.9	2.9	6	10	6	10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.027	5.897
155		A2-S	10	75	8.0	1.81	3.1	3.1	3.1	6	10	6	10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.028	5.839
156		A3-S	10	75	8.0	2.01	3.5	3.5	3.5	6	10	6	10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.031	5.743
157		A4-S	10	75	8.0	1.81	3.1	3.1	3.1	6	10	6	10	420.0	13.3	2300	.248	1.00	1.25	.13	.028	5.839
158		A5-S	10	75	8.0	2.77	4.8	4.8	4.8	6	10	6	10	420.0	28.4	2300	.116	1.00	1.25	.13	.020	5.771
159		A6-S	10	75	8.0	3.06	5.3	5.3	5.3	6	10	6	10	420.0	28.4	2300	.116	1.00	1.25	.13	.022	5.774
160	REHM / STOCKER /23/	B1-S	10	75	8.0	4.24	6.3	6.3	6	10	6	10	420.0	24.7	2400	.134	1.00	1.25	.13	.036	6.730	
161		B2-S	10	75	8.0	4.53	6.7	6.7	6.7	6	10	6	10	420.0	24.7	2400	.134	1.00	1.25	.13	.038	6.761

## Positive Rahmenecken Normalbeton /RIEGEL/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$n \cdot \frac{A_s}{A_c}$ (mm)	$n \cdot \frac{A_s}{A_c}$ (mm)	$\beta_{\text{eff}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_{\text{eff}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	$\mu$ (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$\mu_{\text{eff}}$ (-)	$\eta$ (-)		
162	WALTHER /	2-1-R	15	105	13.5	57.90	55.0	55.0	10	12	10	12	515.0	21.5	6000	.191	1.00	1.13	.14	.141	6.926
163	DIETERLE	2-2-R	15	105	13.5	17.50	16.6	16.6	10	12	10	12	515.0	19.8	4000	.208	1.00	1.13	.15	.046	6.890
164	/24/	2-3-R	15	105	13.3	50.60	47.8	47.8	10	12	10	12	515.0	19.6	6000	.213	1.00	1.14	.14	.139	7.010
165		2-3Q-R	15	105	13.5	60.96	57.7	57.7	10	12	10	12	515.0	19.8	6070	.208	1.00	1.13	.15	.161	6.905

## Positive Rahmenecken Leichtbeton /Riegel/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{\text{eff}}$ [mm]	$\lambda_{\text{eff}}$ [mm]	$\beta_{\text{eff}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_{\text{eff}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	$\mu$ (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$\mu_u$ (-)	$\eta$ (-)			
1	MAYFIELD /	1-1-R	20	15	14.7	2.50	.0	3.1	4	12	2	12	450.0	21.0	4001	.220	2.00	1.36	1.33	.037	-	-
2	KONG /	1-2-R	20	15	14.7	2.50	.0	3.1	4	12	2	12	450.0	21.0	4001	.220	2.00	1.36	1.33	.037	-	-
3	BENNISON /	2-1-R	20	15	14.7	5.70	.0	7.1	2	12	2	12	450.0	19.0	6000	.243	1.00	1.36	1.33	.093	-	-
4	DAVIS	2-2-R	20	15	14.7	6.20	.0	7.7	2	12	2	12	450.0	19.0	6000	.243	1.00	1.36	1.33	.101	-	-
5	/18/	3-1-R	20	15	14.7	2.20	.0	2.7	2	12	2	12	450.0	24.0	1001	.192	1.00	1.36	1.33	.028	-	-
6		4A-1-R	20	15	14.7	3.80	.0	4.7	2	12	2	12	450.0	22.0	1001	.210	1.00	1.36	1.33	.053	-	-
7		4B-R	20	15	14.7	4.10	.0	5.1	2	12	2	12	450.0	17.0	1001	.272	1.00	1.36	1.33	.074	-	-
8		4C-R	20	15	14.7	4.30	.0	5.4	2	12	2	12	450.0	17.0	1001	.272	1.00	1.36	1.33	.078	-	-
9		5A-1-R	20	15	14.7	6.99	.0	8.7	2	12	2	12	450.0	24.5	1011	.188	1.00	1.36	1.33	.088	-	-
10		5A-2	20	15	14.7	6.50	.0	8.1	2	12	2	12	450.0	25.5	1011	.181	1.00	1.36	1.33	.079	-	-
11		5B-1-R	20	15	14.7	5.30	.0	6.6	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.082	-	-
12		5B-2-R	20	15	14.7	6.00	.0	7.5	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.093	-	-
13		5C-1-R	20	15	14.7	6.24	.0	7.8	2	12	2	12	450.0	19.5	1011	.237	1.00	1.36	1.33	.099	-	-
14		5D-1-R	20	15	14.7	5.36	.0	6.7	2	12	2	12	450.0	17.5	1011	.264	1.00	1.36	1.33	.094	-	-
15		5E-1-R	20	15	14.7	5.50	.0	6.9	2	16	2	16	450.0	24.5	1011	.235	1.00	1.36	1.33	.069	-	-
16		5F-1-R	20	15	14.7	4.00	.0	5.0	2	8	2	8	450.0	22.5	1011	.091	1.00	1.36	1.33	.055	-	-
17		6A-1-R	20	15	14.7	5.90	.0	7.4	2	12	2	12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.089	-	-
18		6A-2-R	20	15	14.7	6.30	.0	7.9	2	12	2	12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.095	-	-
19		6B-1-R	20	15	14.7	7.90	.0	9.9	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.116	-	-
20		6B-2-R	20	15	14.7	6.90	.0	8.6	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.101	-	-
21		6C-1-R	20	15	14.7	7.80	.0	9.7	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.120	-	-
22		6C-2-R	20	15	14.7	9.80	.0	12.2	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.151	-	-
23		7-1-R	20	15	14.7	7.50	.0	9.4	2	12	2	12	450.0	18.5	1011	.250	1.00	1.36	1.33	.125	-	-
24		7-2-R	20	15	14.7	7.70	.0	9.6	2	12	2	12	450.0	18.5	1011	.250	1.00	1.36	1.33	.128	-	-
25		8-1-R	20	15	14.7	6.60	.0	8.2	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.097	-	-
26		8-2-R	20	15	14.7	6.30	.0	7.9	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.093	-	-
27		9-1-R	20	15	14.7	4.90	.0	6.1	2	12	2	12	450.0	18.5	1021	.250	1.00	1.36	1.33	.082	-	-
28		9-2-R	20	15	14.7	4.00	.0	5.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1021	.250	1.00	1.36	1.33	.067	-	-
29		10A-1-R	20	15	14.7	4.40	.0	5.5	2	12	2	12	450.0	18.5	1101	.250	1.00	1.36	1.33	.073	-	-
30		10A-2-R	20	15	14.7	4.10	.0	5.1	2	12	2	12	450.0	18.5	1101	.250	1.00	1.36	1.33	.068	-	-
31		10B-R	20	15	14.7	3.40	.0	4.2	2	8	2	8	450.0	18.5	1101	.111	1.00	1.36	1.33	.057	-	-
32		11-R	20	15	14.7	4.40	.0	5.5	2	8	2	8	450.0	17.5	1101	.117	1.00	1.36	1.33	.078	-	-
33		12-1-R	20	15	14.7	4.80	.0	6.0	2	12	2	12	450.0	20.0	1021	.231	1.00	1.36	1.33	.074	-	-
34	MAYFIELD /	1-1-R	20	15	15.7	3.67	.0	4.6	2	10	2	10	375.0	20.5	2001	.122	1.00	1.27	1.33	.048	-	-
35	KONG /	1-2-R	20	15	15.7	3.41	.0	4.3	2	10	2	10	375.0	20.5	2001	.122	1.00	1.27	1.33	.045	-	-
36	BENNISON	2-1-R	20	15	15.7	3.92	.0	4.9	2	10	2	10	375.0	19.5	2001	.128	1.00	1.27	1.33	.054	-	-
37	/24/	2-2-R	20	15	15.7	4.27	.0	5.3	2	10	2	10	375.0	19.5	2001	.128	1.00	1.27	1.33	.059	-	-
38		3-R	20	15	15.7	3.82	.0	4.8	2	10	2	10	375.0	25.0	2001	.100	1.00	1.27	1.33	.041	-	-
39		4-R	20	15	15.7	5.23	.0	6.5	2	10	2	10	375.0	25.0	2101	.100	1.00	1.27	1.33	.057	-	-
40		5-1-R	20	15	15.7	5.36	.0	6.7	2	10	2	10	375.0	22.0	2001	.114	1.00	1.27	1.33	.066	-	-

Positive Rahmenecken Leichtbeton /Riegel/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q		$\lambda_{s1}$	$\lambda_{s2}$	$\lambda_{s3}$	$\lambda_{s4}$	BEW.F	u	$\gamma$	D/H	D/B	$m_u$	$\eta$	
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)		(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
41		5-2-R	20	15	15.7	5.36	.0	6.7	2	10	2	10	375.0	22.0	2001	.114	1.00	1.27	1.33	.066	-
42		6-1-R	20	15	15.7	7.05	.0	8.8	2	10	2	10	375.0	15.0	2101	.167	1.00	1.27	1.33	.127	-
43		6-2-R	20	15	15.7	7.13	.0	8.9	2	10	2	10	375.0	15.0	2101	.167	1.00	1.27	1.33	.129	-
44		7-1-R	20	15	15.7	4.76	.0	5.9	2	10	2	10	375.0	22.5	2001	.111	1.00	1.27	1.33	.057	-
45		7-2-R	20	15	15.7	5.64	.0	7.1	2	10	2	10	375.0	22.5	2001	.111	1.00	1.27	1.33	.068	-
46		8-1-R	20	15	15.7	3.93	.0	4.9	2	10	2	10	375.0	20.0	4001	.125	1.00	1.27	1.33	.053	-
47		8-2-R	20	15	15.7	4.80	.0	6.0	2	10	2	10	375.0	20.0	4001	.125	1.00	1.27	1.33	.065	-
48		9-R	20	15	15.7	4.49	.0	5.6	2	10	2	10	375.0	17.5	4001	.143	1.00	1.27	1.33	.069	-
49		10-R	20	15	15.7	5.44	.0	6.8	2	10	2	10	375.0	17.5	4011	.143	1.00	1.27	1.33	.084	-
50		11-R	20	15	15.7	7.11	.0	8.9	2	10	2	10	375.0	18.5	4011	.135	1.00	1.27	1.33	.104	-
51		12-R	20	15	15.7	7.98	.0	10.0	2	10	2	10	375.0	18.5	4011	.135	1.00	1.27	1.33	.117	-
52		13A-R	20	15	15.7	8.19	.0	10.2	2	10	2	10	375.0	17.5	4111	.143	1.00	1.27	1.33	.127	-
53		13B-R	20	15	15.7	8.19	.0	10.2	2	10	2	10	375.0	17.5	4111	.143	1.00	1.27	1.33	.127	-
54		14-R	20	15	15.7	6.67	.0	8.3	2	10	2	10	375.0	16.0	6000	.156	1.00	1.27	1.33	.113	-
55		15-R	20	15	15.7	7.53	.0	9.4	2	10	2	10	375.0	16.0	6010	.156	1.00	1.27	1.33	.127	-
56		16-R	20	15	15.7	7.05	.0	8.8	2	10	2	10	375.0	15.0	6010	.167	1.00	1.27	1.33	.127	-
57		17-R	20	15	15.7	6.62	.0	8.3	2	10	2	10	375.0	15.0	6010	.167	1.00	1.27	1.33	.119	-
58		18A-R	20	15	15.7	8.11	.0	10.1	2	10	2	10	375.0	17.5	6120	.143	1.00	1.27	1.33	.125	-
59		18B-R	20	15	15.7	8.80	.0	11.0	2	10	2	10	375.0	17.5	6120	.143	1.00	1.27	1.33	.136	-
60		19-1-R	20	15	15.7	3.66	.0	4.6	2	10	2	10	375.0	19.5	1001	.128	1.00	1.27	1.33	.051	-
61		19-2-R	20	15	15.7	4.44	.0	5.5	2	10	2	10	375.0	19.5	1001	.128	1.00	1.27	1.33	.062	-
62		20-1-R	20	15	15.7	5.05	.0	6.3	2	10	2	10	375.0	19.5	1021	.128	1.00	1.27	1.33	.070	-
63		20-2-R	20	15	15.7	5.22	.0	6.5	2	10	2	10	375.0	19.5	1021	.128	1.00	1.27	1.33	.072	-
64		21A-1-R	20	15	15.7	5.36	.0	6.7	2	10	2	10	375.0	18.0	1021	.139	1.00	1.27	1.33	.081	-
65		21A-2-R	20	15	15.7	5.27	.0	6.6	2	10	2	10	375.0	18.0	1021	.139	1.00	1.27	1.33	.079	-
66		21B-R	20	15	15.7	6.46	.0	8.1	2	10	2	10	375.0	13.5	1021	.185	1.00	1.27	1.33	.129	-
67		22A-1-R	20	15	15.7	5.48	.0	6.8	2	10	2	10	375.0	19.0	1021	.132	1.00	1.27	1.33	.078	-
68		22A-2-R	20	15	15.7	5.48	.0	6.8	2	10	2	10	375.0	19.0	1021	.132	1.00	1.27	1.33	.078	-
69		22B-R	20	15	15.7	5.53	.0	6.9	2	10	2	10	375.0	13.5	1021	.185	1.00	1.27	1.33	.111	-
70		22C-R	20	15	15.7	7.62	.0	9.5	2	12	2	12	375.0	16.0	1021	.225	1.00	1.27	1.33	.129	-
71		23-R	20	15	15.7	5.27	.0	6.6	2	12	2	12	375.0	16.0	1101	.225	1.00	1.27	1.33	.089	-
72		24A-R	20	15	15.7	7.13	.0	8.9	2	10	2	10	375.0	22.5	1121	.111	1.00	1.27	1.33	.086	-
73		24B-R	20	15	15.7	6.53	.0	8.2	2	12	2	12	375.0	17.5	1121	.206	1.00	1.27	1.33	.101	-
74		25A-R	20	15	15.7	8.45	.0	10.6	2	10	2	10	375.0	22.5	1121	.111	1.00	1.27	1.33	.102	-
75		25B-R	20	15	15.7	7.94	.0	9.9	2	10	2	10	375.0	20.0	1121	.125	1.00	1.27	1.33	.107	-
76		25C-R	20	15	15.7	5.87	.0	7.3	2	12	2	12	375.0	17.5	1121	.206	1.00	1.27	1.33	.091	-
77		25D-R	20	15	15.7	7.99	.0	10.0	2	10	2	10	375.0	19.0	1121	.132	1.00	1.27	1.33	.114	-
78		25E-R	20	15	15.7	8.34	.0	10.4	2	10	2	10	375.0	19.0	1121	.132	1.00	1.27	1.33	.119	-
79		26A-R	20	15	15.7	9.03	.0	11.3	2	10	2	10	375.0	15.5	1121	.161	1.00	1.27	1.33	.158	-
80		26B-1-R	20	15	15.7	10.00	.0	12.5	2	10	2	10	375.0	17.5	1121	.143	1.00	1.27	1.33	.155	-
81		26B-2-R	20	15	15.7	9.06	.0	11.3	2	10	2	10	375.0	17.5	1121	.143	1.00	1.27	1.33	.140	-
82		26C-R	20	15	15.7	8.66	.0	10.8	2	10	2	10	375.0	20.5	1121	.122	1.00	1.27	1.33	.114	-
83		26D-R	20	15	15.7	11.35	.0	14.2	2	10	2	10	375.0	20.0	1121	.125	1.00	1.27	1.33	.153	-
84		26E-R	20	15	15.7	7.21	.0	9.0	2	16	2	16	375.0	17.5	1121	.366	1.00	1.27	1.33	.111	-
85		26F-R	20	15	15.7	6.84	.0	8.5	2	16	2	16	375.0	17.5	1121	.366	1.00	1.27	1.33	.106	-
86		27-R	20	15	15.7	8.55	.0	10.7	2	10	2	10	375.0	20.0	1121	.125	1.00	1.27	1.33	.116	-
87		28-R	20	15	15.7	7.35	.0	9.2	2	10	2	10	375.0	20.5	1121	.122	1.00	1.27	1.33	.097	-



Positive Rahmenecken Normalbeton /Stiel/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{s'}$	$\lambda_{s''}$	$\beta_{s'}$	$\beta_{s''}$	BEW.F	u	$\gamma$	D/H	D/B	$\mu_u$	$\eta$		
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	n	n	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		
162	WALTHER /	Z-1-S	15	105	13.5	57.90	55.0	55.0	10	12	10	12	515.0	21.5	6000	.191	1.00	1.13	.14	.141	6.926
163	DIETERLE	Z-2-S	15	105	13.5	17.50	16.6	16.6	10	12	10	12	515.0	19.8	4000	.208	1.00	1.13	.15	.046	6.890
164	/24/	Z-3-S	15	105	13.3	50.60	47.8	47.8	10	12	10	12	515.0	19.6	6000	.213	1.00	1.14	.14	.139	7.010
165		Z-3Q-S	15	105	13.5	60.96	57.7	57.7	10	12	10	12	515.0	19.8	6070	.208	1.00	1.13	.15	.161	6.905

Positive Rahmenecken Leichtbeton /Stiel/										$\lambda_{s'}$		$\lambda_{s''}$		$\beta_{s'}$		$\beta_{s''}$		BEW.F		u	γ	D/H	D/B	$\mu_u$	η
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	n	n	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )							(-)						
1	MAYFIELD /	1-1-S	20	15	14.7	2.81	3.1	.0	4	12	2	12	450.0	21.0	4001	.220	2.00	1.36	1.33	.041	4.532				
2	KONG /	1-2-S	20	15	14.7	2.81	3.1	.0	4	12	2	12	450.0	21.0	4001	.220	2.00	1.36	1.33	.041	4.532				
3	BENNISON /	2-1-S	20	15	14.7	6.41	7.1	.0	2	12	2	12	450.0	19.0	6000	.243	1.00	1.36	1.33	.104	4.514				
4	DAVIS	2-2-S	20	15	14.7	6.97	7.7	.0	2	12	2	12	450.0	19.0	6000	.243	1.00	1.36	1.33	.113	4.526				
5	/18/	3-1-S	20	15	14.7	2.47	2.7	.0	2	12	2	12	450.0	24.0	1001	.192	1.00	1.36	1.33	.032	4.574				
6		4A-1-S	20	15	14.7	4.27	4.7	.0	2	12	2	12	450.0	22.0	1001	.210	1.00	1.36	1.33	.060	4.543				
7		4B-S	20	15	14.7	4.61	5.1	.0	2	12	2	12	450.0	17.0	1001	.272	1.00	1.36	1.33	.084	4.520				
8		4C-S	20	15	14.7	4.84	5.4	.0	2	12	2	12	450.0	17.0	1001	.272	1.00	1.36	1.33	.088	4.481				
9		5A-1-S	20	15	14.7	7.86	8.7	.0	2	12	2	12	450.0	24.5	1011	.188	1.00	1.36	1.33	.099	4.517				
10		5A-2	20	15	14.7	7.31	8.1	.0	2	12	2	12	450.0	25.5	1011	.181	1.00	1.36	1.33	.088	4.512				
11		5B-1-S	20	15	14.7	5.96	6.6	.0	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.092	4.515				
12		5B-2-S	20	15	14.7	6.75	7.5	.0	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.104	4.500				
13		5C-1-S	20	15	14.7	7.02	7.8	.0	2	12	2	12	450.0	19.5	1011	.237	1.00	1.36	1.33	.111	4.500				
14		5D-1-S	20	15	14.7	6.03	6.7	.0	2	12	2	12	450.0	17.5	1011	.264	1.00	1.36	1.33	.106	4.500				
15		5E-1-S	20	15	14.7	6.19	6.9	.0	2	16	2	16	450.0	24.5	1011	.335	1.00	1.36	1.33	.078	4.486				
16		5F-1-S	20	15	14.7	4.50	5.0	.0	2	8	2	8	450.0	22.5	1011	.091	1.00	1.36	1.33	.062	4.500				
17		6A-1-S	20	15	14.7	6.64	7.4	.0	2	12	2	12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.100	4.486				
18		6A-2-S	20	15	14.7	7.09	7.9	.0	2	12	2	12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.107	4.487				
19		6B-1-S	20	15	14.7	8.89	9.9	.0	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.131	4.490				
20		6B-2-S	20	15	14.7	7.76	8.6	.0	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.114	4.512				
21		6C-1-S	20	15	14.7	8.77	9.7	.0	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.135	4.521				
22		6C-2-S	20	15	14.7	11.02	12.2	.0	2	12	2	12	450.0	20.0	1011	.231	1.00	1.36	1.33	.170	4.516				
23		7-1-S	20	15	14.7	8.44	9.4	.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1011	.250	1.00	1.36	1.33	.141	4.489				
24		7-2-S	20	15	14.7	8.66	9.6	.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1011	.250	1.00	1.36	1.33	.144	4.510				
25		8-1-S	20	15	14.7	7.43	8.2	.0	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.109	4.530				
26		8-2-S	20	15	14.7	7.09	7.9	.0	2	12	2	12	450.0	21.0	1011	.220	1.00	1.36	1.33	.104	4.487				
27		9-1-S	20	15	14.7	5.51	6.1	.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1021	.250	1.00	1.36	1.33	.092	4.516				
28		9-2-S	20	15	14.7	4.50	5.0	.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1021	.250	1.00	1.36	1.33	.075	4.500				
29		10A-1-S	20	15	14.7	4.95	5.5	.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1101	.250	1.00	1.36	1.33	.083	4.500				
30		10A-2-S	20	15	14.7	4.61	5.1	.0	2	12	2	12	450.0	18.5	1101	.250	1.00	1.36	1.33	.077	4.520				
31		10B-S	20	15	14.7	3.82	4.2	.0	2	8	2	8	450.0	18.5	1101	.111	1.00	1.36	1.33	.064	4.548				
32		11-S	20	15	14.7	4.95	5.5	.0	2	8	2	8	450.0	17.5	1101	.117	1.00	1.36	1.33	.087	4.500				
33		12-1-S	20	15	14.7	5.40	6.0	.0	2	12	2	12	450.0	20.0	1021	.231	1.00	1.36	1.33	.083	4.500				
34	MAYFIELD /	1-1-S	20	15	15.7	4.13	4.6	.0	2	10	2	10	375.0	20.5	2001	.122	1.00	1.27	1.33	.054	4.489				
35	KONG /	1-2-S	20	15	15.7	3.84	4.3	.0	2	10	2	10	375.0	20.5	2001	.122	1.00	1.27	1.33	.051	4.465				
36	BENNISON	2-1-S	20	15	15.7	4.41	4.9	.0	2	10	2	10	375.0	19.5	2001	.128	1.00	1.27	1.33	.061	4.500				
37	/24/	2-2-S	20	15	15.7	4.80	5.3	.0	2	10	2	10	375.0	19.5	2001	.128	1.00	1.27	1.33	.067	4.528				
38		3-S	20	15	15.7	4.30	4.8	.0	2	10	2	10	375.0	25.0	2001	.100	1.00	1.27	1.33	.047	4.479				
39		4-S	20	15	15.7	5.88	6.5	.0	2	10	2	10	375.0	25.0	2101	.100	1.00	1.27	1.33	.064	4.523				

Positive Rahmenecken Leichtbeton /Stiel/																			
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{s,0}^i$	$\lambda_{s,0}$	$\beta_{s,0}$	$\beta_{p,0}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\eta_y$	$\eta$
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
40		5-1-S	20	15	15.7	6.03	6.7	.0	2 10	2 10	375.0	22.0	2001	.114	1.00	1.27	1.33	.074	4.500
41		5-2-S	20	15	15.7	6.03	6.7	.0	2 10	2 10	375.0	22.0	2001	.114	1.00	1.27	1.33	.074	4.500
42		6-1-S	20	15	15.7	7.93	8.8	.0	2 10	2 10	375.0	15.0	2101	.167	1.00	1.27	1.33	.143	4.506
43		6-2-S	20	15	15.7	8.02	8.9	.0	2 10	2 10	375.0	15.0	2101	.167	1.00	1.27	1.33	.145	4.506
44		7-1-S	20	15	15.7	5.35	5.9	.0	2 10	2 10	375.0	22.5	2001	.111	1.00	1.27	1.33	.064	4.534
45		7-2-S	20	15	15.7	6.35	7.1	.0	2 10	2 10	375.0	22.5	2001	.111	1.00	1.27	1.33	.076	4.472
46		8-1-S	20	15	15.7	4.42	4.9	.0	2 10	2 10	375.0	20.0	4001	.125	1.00	1.27	1.33	.060	4.510
47		8-2-S	20	15	15.7	5.40	6.0	.0	2 10	2 10	375.0	20.0	4001	.125	1.00	1.27	1.33	.073	4.500
48		9-S	20	15	15.7	5.05	5.6	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	4001	.143	1.00	1.27	1.33	.078	4.509
49		10-S	20	15	15.7	6.12	6.8	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	4011	.143	1.00	1.27	1.33	.095	4.500
50		11-S	20	15	15.7	8.00	8.9	.0	2 10	2 10	375.0	18.5	4011	.135	1.00	1.27	1.33	.117	4.494
51		12-S	20	15	15.7	8.98	10.0	.0	2 10	2 10	375.0	18.5	4011	.135	1.00	1.27	1.33	.131	4.490
52		13A-S	20	15	15.7	9.21	10.2	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	4111	.143	1.00	1.27	1.33	.142	4.515
53		13B-S	20	15	15.7	9.21	10.2	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	4111	.143	1.00	1.27	1.33	.142	4.515
54		14-S	20	15	15.7	7.50	8.3	.0	2 10	2 10	375.0	16.0	6000	.156	1.00	1.27	1.33	.127	4.518
55		15-S	20	15	15.7	8.47	9.4	.0	2 10	2 10	375.0	16.0	6010	.156	1.00	1.27	1.33	.143	4.505
56		16-S	20	15	15.7	7.93	8.8	.0	2 10	2 10	375.0	15.0	6010	.167	1.00	1.27	1.33	.143	4.506
57		17-S	20	15	15.7	7.45	8.3	.0	2 10	2 10	375.0	15.0	6010	.167	1.00	1.27	1.33	.134	4.488
58		18A-S	20	15	15.7	9.12	10.1	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	6120	.143	1.00	1.27	1.33	.141	4.515
59		18B-S	20	15	15.7	9.90	11.0	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	6120	.143	1.00	1.27	1.33	.153	4.500
60		19-1-S	20	15	15.7	4.12	4.6	.0	2 10	2 10	375.0	19.5	1001	.128	1.00	1.27	1.33	.057	4.478
61		19-2-S	20	15	15.7	4.99	5.5	.0	2 10	2 10	375.0	19.5	1001	.128	1.00	1.27	1.33	.069	4.536
62		20-1-S	20	15	15.7	5.68	6.3	.0	2 10	2 10	375.0	19.5	1021	.128	1.00	1.27	1.33	.079	4.508
63		20-2-S	20	15	15.7	5.87	6.5	.0	2 10	2 10	375.0	19.5	1021	.128	1.00	1.27	1.33	.081	4.515
64		21A-1-S	20	15	15.7	6.03	6.7	.0	2 10	2 10	375.0	18.0	1021	.139	1.00	1.27	1.33	.091	4.500
65		21A-2-S	20	15	15.7	5.93	6.6	.0	2 10	2 10	375.0	18.0	1021	.139	1.00	1.27	1.33	.089	4.492
66		21B-S	20	15	15.7	7.27	8.1	.0	2 10	2 10	375.0	13.5	1021	.185	1.00	1.27	1.33	.146	4.488
67		22A-1-S	20	15	15.7	6.16	6.8	.0	2 10	2 10	375.0	19.0	1021	.132	1.00	1.27	1.33	.088	4.529
68		22A-2-S	20	15	15.7	6.16	6.8	.0	2 10	2 10	375.0	19.0	1021	.132	1.00	1.27	1.33	.088	4.529
69		22B-S	20	15	15.7	6.22	6.9	.0	2 10	2 10	375.0	13.5	1021	.185	1.00	1.27	1.33	.125	4.507
70		22C-S	20	15	15.7	8.57	9.5	.0	2 12	2 12	375.0	16.0	1021	.225	1.00	1.27	1.33	.145	4.511
71		23-S	20	15	15.7	5.93	6.6	.0	2 12	2 12	375.0	16.0	1101	.225	1.00	1.27	1.33	.100	4.492
72		24A-S	20	15	15.7	8.02	8.9	.0	2 10	2 10	375.0	22.5	1121	.111	1.00	1.27	1.33	.096	4.506
73		24B-S	20	15	15.7	7.35	8.2	.0	2 12	2 12	375.0	17.5	1121	.206	1.00	1.27	1.33	.114	4.482
74		25A-S	20	15	15.7	9.51	10.6	.0	2 10	2 10	375.0	22.5	1121	.111	1.00	1.27	1.33	.114	4.486
75		25B-S	20	15	15.7	8.93	9.9	.0	2 10	2 10	375.0	20.0	1121	.125	1.00	1.27	1.33	.121	4.510
76		25C-S	20	15	15.7	6.60	7.3	.0	2 12	2 12	375.0	17.5	1121	.206	1.00	1.27	1.33	.102	4.521
77		25D-S	20	15	15.7	8.99	10.0	.0	2 10	2 10	375.0	19.0	1121	.132	1.00	1.27	1.33	.128	4.495
78		25E-S	20	15	15.7	9.38	10.4	.0	2 10	2 10	375.0	19.0	1121	.132	1.00	1.27	1.33	.134	4.510
79		26A-S	20	15	15.7	10.16	11.3	.0	2 10	2 10	375.0	15.5	1121	.161	1.00	1.27	1.33	.177	4.496
80		26B-1-S	20	15	15.7	11.25	12.5	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	1121	.143	1.00	1.27	1.33	.174	4.500
81		26B-2-S	20	15	15.7	10.19	11.3	.0	2 10	2 10	375.0	17.5	1121	.143	1.00	1.27	1.33	.157	4.509
82		26C-S	20	15	15.7	9.74	10.8	.0	2 10	2 10	375.0	20.5	1121	.122	1.00	1.27	1.33	.129	4.509
83		26D-S	20	15	15.7	12.77	14.2	.0	2 10	2 10	375.0	20.0	1121	.125	1.00	1.27	1.33	.173	4.496
84		26E-S	20	15	15.7	8.11	9.0	.0	2 16	2 16	375.0	17.5	1121	.366	1.00	1.27	1.33	.125	4.506
85		26F-S	20	15	15.7	7.69	8.5	.0	2 16	2 16	375.0	17.5	1121	.366	1.00	1.27	1.33	.119	4.524
86		27-S	20	15	15.7	9.62	10.7	.0	2 10	2 10	375.0	20.0	1121	.125	1.00	1.27	1.33	.130	4.495
87		28-S	20	15	15.7	8.27	9.2	.0	2 10	2 10	375.0	20.5	1121	.122	1.00	1.27	1.33	.109	4.495

Winkelstützmauern /Wand/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	M	Q	$\lambda_{s'}$		$\lambda_s$		$\beta_s$		BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_1$	$\eta$
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)	n	$\sigma$	n	$\sigma$	(N/mm2)	(N/mm2)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1	NILSSON	U70-R	25	35	22.5	36.00	32.0	.0	0	0	4	10	667.0	21.8	2000	.122	.00	1.11	.71	.093	4.500
2	/4/	U71-R	25	35	22.5	41.90	37.2	.0	0	0	4	10	679.0	54.4	6100	.050	.00	1.11	.71	.043	4.505
3		U72-R	25	35	22.5	41.90	37.3	.0	0	0	4	10	675.0	43.6	6100	.062	.00	1.11	.71	.054	4.493
4		U73-R	25	35	22.5	27.20	24.2	.0	0	0	4	10	719.0	25.1	3000	.114	.00	1.11	.71	.061	4.496
5		U74-R	25	35	22.5	21.20	18.8	.0	0	0	4	10	614.0	35.4	4000	.069	.00	1.11	.71	.034	4.511
6		U75-R	25	35	22.5	40.80	36.3	.0	0	0	4	10	601.0	29.3	2100	.082	.00	1.11	.71	.079	4.496
7		U76-R	25	35	22.5	37.10	33.0	.0	0	0	4	10	679.0	28.1	2000	.096	.00	1.11	.71	.075	4.497
8		U77-R	25	35	22.5	38.90	34.6	.0	0	0	4	10	679.0	27.5	2000	.099	.00	1.11	.71	.080	4.497
9		U78-R	25	35	22.5	36.90	32.8	.0	0	0	4	10	679.0	27.4	2000	.099	.00	1.11	.71	.076	4.500

Winkelstützmauern /Bodenplatte/									$\lambda_{s'}$		$\lambda_{s''}$		$\beta_{s'}$		$\beta_{s''}$		BEW.F		$\mu$		$\gamma$		D/H		D/B		$m_1$		$\eta$		
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	M	Q	n	n	n	n	[mm]	[mm]	[N/mm2]	[N/mm2]			(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)																							
1	NILSSON	U70-S	20	35	17.5	32.00	.0	32.0	0	0	4	10	667.0	21.8	2000			.157	.00	1.14	.57	.137	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	/4/	U71-S	20	35	17.5	37.20	.0	37.2	0	0	4	10	679.0	54.4	6100			.064	.00	1.14	.57	.064	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3		U72-S	20	35	17.5	37.30	.0	37.3	0	0	4	10	675.0	43.6	6100			.079	.00	1.14	.57	.080	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4		U73-S	20	35	17.5	24.20	.0	24.2	0	0	4	10	719.0	25.1	3000			.147	.00	1.14	.57	.090	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5		U74-S	20	35	17.5	18.80	.0	18.8	0	0	4	10	614.0	35.4	4000			.089	.00	1.14	.57	.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6		U75-S	20	35	17.5	36.30	.0	36.3	0	0	4	10	601.0	29.3	2100			.105	.00	1.14	.57	.116	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7		U76-S	20	35	17.5	33.00	.0	33.0	0	0	4	10	679.0	28.1	2000			.124	.00	1.14	.57	.110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8		U77-S	20	35	17.5	34.60	.0	34.6	0	0	4	10	679.0	27.5	2000			.127	.00	1.14	.57	.117	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9		U78-S	20	35	17.5	32.80	.0	32.8	0	0	4	10	679.0	27.4	2000			.127	.00	1.14	.57	.112	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Stumpfe Rahmenecken Normalbeton /Riegel																				
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{s,0}$	$\lambda_{s,0}$	$\beta_{s,0}$	$\beta_{p,0}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\eta_1$	$\eta$	
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	n	n	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]								
1	KORDINA	T1	12	100	10.0	23.90	.0	.0	0	0	10	12	420.0	28.5	4000	.167	.00	1.24	.12	.084
2	/B/	T2	12	100	9.3	19.20	.0	.0	9	12	10	12	420.0	31.9	4001	.160	.90	1.34	.13	.070
3		T3	12	100	9.6	25.10	.0	.0	9	12	10	12	420.0	25.8	4011	.192	.90	1.27	.12	.106
4		T4	12	100	9.5	35.20	.0	.0	9	10	10	12	420.0	26.4	4011	.189	.63	1.28	.12	.148
5		T5	12	100	9.9	38.80	.0	.0	0	0	11	12	420.0	21.8	6170	.242	.00	1.24	.12	.182
6		T6	12	100	9.9	45.80	.0	.0	0	0	10	12	420.0	36.7	6170	.131	.00	1.22	.12	.127
7	NILSSON	V1	20	20	16.9	10.50	.0	.0	0	0	3	12	401.0	30.6	4000	.132	.00	1.18	1.00	.060
8	/4/	V2	20	20	16.9	18.80	.0	.0	0	0	3	12	403.0	27.8	6000	.146	.00	1.18	1.00	.118
9		V3	20	20	16.9	29.10	.0	.0	0	0	3	12	402.0	32.4	6100	.125	.00	1.18	1.00	.157
10		V4	20	20	16.9	30.30	.0	.0	0	0	3	12	466.0	42.7	6100	.110	.00	1.18	1.00	.124
11		V5	20	20	16.9	21.20	.0	.0	0	0	3	12	464.0	24.9	6100	.187	.00	1.18	1.00	.149
12		V10	20	20	16.9	27.10	.0	.0	0	0	3	12	659.0	30.4	6100	.218	.00	1.18	1.00	.156
13		V11	20	20	17.5	24.80	.0	.0	0	0	3	10	662.0	26.2	6100	.170	.00	1.14	1.00	.155
14		V12	20	20	16.9	27.10	.0	.0	0	0	3	12	657.0	31.4	6100	.210	.00	1.18	1.00	.151
15		V13	20	20	17.5	27.10	.0	.0	0	0	3	10	668.0	33.4	6100	.135	.00	1.14	1.00	.132
16		V14	20	20	17.6	18.60	.0	.0	0	0	3	8	635.0	31.1	6100	.087	.00	1.14	1.00	.097
17		V15	20	20	17.5	17.40	.0	.0	0	0	2	10	637.0	29.0	6100	.099	.00	1.14	1.00	.098
18		V16	20	20	17.5	17.70	.0	.0	0	0	2	10	602.0	24.8	6100	.109	.00	1.14	1.00	.117
19		V17	20	20	17.5	10.60	.0	.0	0	0	1	10	662.0	24.6	6100	.060	.00	1.14	1.00	.070
20		V21	20	20	16.9	29.80	.0	.0	0	0	3	12	663.0	22.1	6110	.301	.00	1.18	1.00	.236

Stumpfe Rahmenecken Normalbeton /Stiel/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{s,0}$	$\lambda_{s,0}$	$\beta_{s,0}$	$\beta_{p,0}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\eta_1$	$\eta$		
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	n	n	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
1	KORDINA	T1	12	100	10.0	23.90	.0	.0	0	0	10	12	420.0	28.5	4000	.167	.00	1.24	.12	.084	-
2	/B/	T2	12	100	9.3	19.20	.0	.0	9	12	10	12	420.0	31.9	4001	.160	.90	1.34	.13	.070	-
3		T3	12	100	9.6	25.10	.0	.0	9	12	10	12	420.0	25.8	4011	.192	.90	1.27	.12	.106	-
4		T4	12	100	9.5	35.20	.0	.0	9	10	10	12	420.0	26.4	4011	.189	.63	1.28	.12	.148	-
5		T5	12	100	9.9	38.80	.0	.0	0	0	11	12	420.0	21.8	6170	.242	.00	1.24	.12	.182	-
6		T6	12	100	9.9	45.80	.0	.0	0	0	10	12	420.0	36.7	6170	.131	.00	1.22	.12	.127	-
7	NILSSON	V1	20	20	16.9	10.50	.0	.0	0	0	3	12	401.0	30.6	4000	.132	.00	1.18	1.00	.060	-
8	/4/	V2	20	20	16.9	18.80	.0	.0	0	0	3	12	403.0	27.8	6000	.146	.00	1.18	1.00	.118	-
9		V3	20	20	16.9	29.10	.0	.0	0	0	3	12	402.0	32.4	6100	.125	.00	1.18	1.00	.157	-
10		V4	20	20	16.9	30.30	.0	.0	0	0	3	12	466.0	42.7	6100	.110	.00	1.18	1.00	.124	-
11		V5	20	20	16.9	21.20	.0	.0	0	0	3	12	464.0	24.9	6100	.187	.00	1.18	1.00	.149	-
12		V10	20	20	16.9	27.10	.0	.0	0	0	3	12	659.0	30.4	6100	.218	.00	1.18	1.00	.156	-
13		V11	20	20	17.5	24.80	.0	.0	0	0	3	10	662.0	26.2	6100	.170	.00	1.14	1.00	.155	-
14		V12	20	20	16.9	27.10	.0	.0	0	0	3	12	657.0	31.4	6100	.210	.00	1.18	1.00	.151	-
15		V13	20	20	17.5	27.10	.0	.0	0	0	3	10	668.0	33.4	6100	.135	.00	1.14	1.00	.132	-
16		V14	20	20	17.6	18.60	.0	.0	0	0	3	8	635.0	31.1	6100	.087	.00	1.14	1.00	.097	-
17		V15	20	20	17.5	17.40	.0	.0	0	0	2	10	637.0	29.0	6100	.099	.00	1.14	1.00	.098	-
18		V16	20	20	17.5	17.70	.0	.0	0	0	2	10	602.0	24.8	6100	.109	.00	1.14	1.00	.117	-
19		V17	20	20	17.5	10.60	.0	.0	0	0	1	10	662.0	24.6	6100	.060	.00	1.14	1.00	.070	-
20		V21	20	20	16.9	29.80	.0	.0	0	0	3	12	663.0	22.1	6110	.301	.00	1.18	1.00	.236	-

Spitze Rahmenecken Normalbeton /Riegel										$\lambda_{s'}$	$\lambda_s$									
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$n_{s'}$	$n_s$	$\beta_a$	$\beta_D$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_y$	$\eta$	
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
1	MILSSON	V51	20	26	17.5	11.60	.0	.0	0	0	3	10	584.0	31.8	4102	.092	.00	1.14	.044	-
2	/4/	V53	20	26	17.5	26.30	.0	.0	0	0	3	10	665.0	27.5	6102	.121	.00	1.14	.117	-
3		V54	20	26	17.5	25.90	.0	.0	0	0	3	10	680.0	26.1	6102	.131	.00	1.14	.121	-

Spitze Rahmenecken Normalbeton /Stiel/																				
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{s'}$	$\lambda_s$	$\beta_a$	$\beta_D$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_y$	$\eta$	
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
1	MILSSON	V51	20	26	17.5	11.60	.0	.0	0	0	3	10	584.0	31.8	4102	.092	.00	1.14	.75	.044
2	/4/	V53	20	26	17.5	26.30	.0	.0	0	0	3	10	665.0	27.5	6102	.121	.00	1.14	.75	.117
3		V54	20	26	17.5	25.90	.0	.0	0	0	3	10	680.0	26.1	6102	.131	.00	1.14	.75	.121

## Negative Rahmenecken Normalbeton /Stiel/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$n_{s1}$	$n_{s2}$	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\eta_1$	$\eta$		
			[mm]	[mm]	[mm]	[N/mm2]	[N/mm2]		[mm]	[mm]	[N/mm2]	[N/mm2]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		
1	KORDINA /	V7-S	90	25	84.0	971.30	-265.0	265.0	2	12	10	20	409.9	25.5	1072	.240	.07	1.07	3.60	.216	-4.073
2	WIEDEMANN/7/	V9-S	60	84	53.9	953.10	-455.0	455.0	6	12	6	28	447.0	34.0	3032	.107	.18	1.11	.71	.115	-3.491
3	STROBAND /	A1-S	12	7	10.8	2.95	-11.5	4.2	2	6	2	6	450.0	16.9	1002	.199	1.00	1.11	1.71	.214	-2.138
4	KOLPA	A2-S	12	7	10.8	3.51	-12.8	5.0	2	6	2	6	450.0	21.3	1052	.158	1.00	1.11	1.71	.202	-2.285
5	/25/	A3-S	12	7	10.8	3.51	-12.3	5.0	2	6	2	6	450.0	19.3	1062	.174	1.00	1.11	1.71	.223	-2.378
6		A4-S	12	7	10.8	3.44	-12.4	4.9	2	6	2	6	450.0	18.6	1002	.181	1.00	1.11	1.71	.227	-2.312
7		A5-S	12	7	10.8	3.51	-12.7	5.0	2	6	2	6	450.0	20.8	1052	.162	1.00	1.11	1.71	.207	-2.303
8		A6-S	12	7	10.8	3.79	-13.2	5.4	2	6	2	6	450.0	18.6	1062	.181	1.00	1.11	1.71	.250	-2.393
9		A7-S	12	7	10.8	3.30	-12.9	4.7	2	6	2	6	450.0	19.2	1002	.175	1.00	1.11	1.71	.211	-2.132
10		A8-S	12	7	10.8	3.86	-13.2	5.5	2	6	2	6	450.0	21.3	1052	.158	1.00	1.11	1.71	.222	-2.437
11		A9-S	12	7	10.8	3.93	-13.8	5.6	2	6	2	6	450.0	19.3	1062	.174	1.00	1.11	1.71	.249	-2.373
12		A10-S	12	7	10.8	2.81	-11.4	4.0	2	6	2	6	450.0	16.9	4000	.199	1.00	1.11	1.71	.204	-2.054
13		A11-S	12	7	10.8	3.02	-12.2	4.3	2	6	2	6	450.0	20.8	4050	.162	1.00	1.11	1.71	.178	-2.063
14		A12-S	12	7	10.8	3.86	-13.8	5.5	2	6	2	6	450.0	19.3	4060	.174	1.00	1.11	1.71	.245	-2.331
15		A13-S	12	7	10.8	3.02	-11.8	4.3	2	6	2	6	450.0	18.6	4000	.181	1.00	1.11	1.71	.199	-2.133
16		A14-S	12	7	10.8	3.58	-12.8	5.1	2	6	2	6	450.0	16.9	4050	.199	1.00	1.11	1.71	.259	-2.331
17		A15-S	12	7	10.8	3.58	-13.5	5.1	2	6	2	6	450.0	20.8	4060	.162	1.00	1.11	1.71	.211	-2.210
18		A16-S	12	7	10.8	3.16	-12.0	4.5	2	6	2	6	450.0	19.2	4000	.175	1.00	1.11	1.71	.202	-2.194
19		A17-S	12	7	10.8	3.58	-12.7	5.1	2	6	2	6	450.0	21.3	4050	.158	1.00	1.11	1.71	.206	-2.349
20		A18-S	12	7	10.8	4.00	-14.1	5.7	2	6	2	6	450.0	19.2	4060	.175	1.00	1.11	1.71	.255	-2.364
21		A19-S	12	7	10.8	2.60	-10.9	3.7	2	6	2	6	450.0	18.1	2062	.186	1.00	1.11	1.71	.176	-1.988
22		A20-S	12	7	10.8	3.37	-12.5	4.8	2	6	2	6	450.0	18.1	2062	.186	1.00	1.11	1.71	.228	-2.247
23		A21-S	12	7	10.8	3.65	-12.8	5.2	2	6	2	6	450.0	18.1	2062	.186	1.00	1.11	1.71	.247	-2.376
24		A22-S	12	7	10.8	3.37	-16.1	4.8	2	6	2	6	450.0	17.8	1002	.189	1.00	1.11	1.71	.232	-1.744
25		A23-S	12	7	10.8	3.23	-15.1	4.6	2	6	2	6	450.0	17.8	1052	.189	1.00	1.11	1.71	.222	-1.783
26		A24-S	12	7	10.8	3.16	-16.1	4.5	2	6	2	6	450.0	17.0	1052	.198	1.00	1.11	1.71	.228	-1.636
27		A25-S	12	7	10.8	2.32	-9.4	3.3	2	6	2	6	450.0	9.5	1052	.354	1.00	1.11	1.71	.299	-2.057
28		A26-S	12	7	10.8	2.18	-9.0	3.1	2	6	2	6	450.0	9.5	2062	.354	1.00	1.11	1.71	.281	-2.019
29		A27-S	12	7	10.8	2.32	-9.6	3.3	2	6	2	6	450.0	9.0	2062	.374	1.00	1.11	1.71	.316	-2.014
30		A28-S	12	7	10.8	1.83	-9.6	2.6	2	6	2	6	450.0	7.1	1002	.474	1.00	1.11	1.71	.316	-1.589
31		A29-S	12	7	10.8	2.11	-10.8	3.0	2	6	2	6	450.0	10.6	1052	.318	1.00	1.11	1.71	.244	-1.628
32		A30-S	12	7	10.8	1.97	-10.5	2.8	2	6	2	6	450.0	9.3	4000	.362	1.00	1.11	1.71	.259	-1.563
33		A31-S	12	7	10.8	2.46	-12.9	3.5	2	6	2	6	450.0	9.8	4050	.343	1.00	1.11	1.71	.307	-1.589
34		A32-S	12	7	10.8	2.18	-11.6	3.1	2	6	2	6	450.0	9.0	4050	.374	1.00	1.11	1.71	.297	-1.566
35		A33-S	12	7	10.8	2.46	-13.5	3.5	2	6	2	6	450.0	9.8	4050	.343	1.00	1.11	1.71	.307	-1.519
36	SWANN	103-S	15	15	12.3	13.49	-12.1	.0	2	19	2	19	295.0	23.3	5080	.384	1.00	1.24	1.00	.252	-7.335
37	/17/	104-S	15	15	12.3	13.09	-11.7	.0	2	19	2	19	295.0	22.9	4080	.391	1.00	1.24	1.00	.249	-7.361
38		106-S	15	15	12.3	13.71	-12.3	.0	2	19	2	19	295.0	22.4	4080	.399	1.00	1.24	1.00	.266	-7.333
39		109-S	15	15	12.3	14.81	-13.3	.0	2	19	2	19	295.0	19.9	1011	.450	1.00	1.24	1.00	.324	-7.326
40		110-S	15	15	12.3	17.32	-15.5	.0	2	19	2	19	295.0	22.0	1011	.407	1.00	1.24	1.00	.342	-7.351
41	BALINT /	NS004/2-S	15	15	13.3	4.76	-4.0	.0	2	6	3	6	450.0	26.9	1002	.070	.67	1.14	1.00	.066	-7.829
42	TAYLOR	NS008/2-S	15	15	13.2	8.97	-7.5	.0	2	10	3	10	450.0	32.2	1002	.164	.67	1.15	1.00	.105	-7.868
43	/13/	NS014/1-S	15	15	12.4	15.17	-12.7	.0	2	12	3	12	450.0	21.7	1002	.373	.67	1.23	1.00	.299	-7.858
44		NSM10/2-S	15	15	12.4	14.79	-12.4	.0	2	12	2	12	450.0	25.2	1042	.214	1.00	1.23	1.00	.251	-7.847
45		S10R1-S	15	15	12.4	14.12	-11.8	.0	2	12	2	12	450.0	31.6	1114	.171	1.00	1.23	1.00	.191	-7.872
46		S10M14/1-	15	15	12.4	15.31	-12.8	.0	2	12	2	12	450.0	35.8	1044	.151	1.00	1.23	1.00	.183	-7.869
47		S15R2-S	15	15	12.4	15.61	-13.1	.0	2	12	2	12	450.0	27.5	1114	.196	1.00	1.23	1.00	.243	-7.839
48		S15M14/1-	15	15	12.4	14.31	-12.0	.0	2	12	2	12	450.0	25.2	1044	.214	1.00	1.23	1.00	.243	-7.845
49		S15M10/2-	15	15	12.4	14.74	-12.3	.0	2	12	2	12	450.0	32.9	1044	.164	1.00	1.23	1.00	.192	-7.884

Negative Rahmenecken Normalbeton /Stiel/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$n \frac{\sigma_s}{\sigma}$	$n \frac{\sigma_p}{\sigma}$	$\beta_s$	$\beta_p$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\mu_y$	$\eta$		
			(mm)	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
50	OESTLUND	V1-S	30	20	26.8	54.97	-73.5	73.5	0	0	2	16	600.0	27.7	1000	.163	.00	1.12	1.50	.138	-2.493
51	/26/	V2-S	30	20	26.8	34.40	-46.0	46.0	0	0	2	16	600.0	12.5	1000	.360	.00	1.12	1.50	.192	-2.493
52		V3-S	30	20	26.8	63.67	-84.9	84.9	0	0	2	16	600.0	27.8	1000	.162	.00	1.12	1.50	.159	-2.500
53		V4-S	30	20	26.8	47.78	-63.6	63.6	0	0	2	16	600.0	14.7	1000	.306	.00	1.12	1.50	.226	-2.504
54		V5-S	30	20	26.8	68.70	-91.9	91.9	0	0	2	16	600.0	27.2	1000	.165	.00	1.12	1.50	.176	-2.492
55		V6-S	30	20	26.8	55.90	-74.2	74.2	0	0	2	16	600.0	14.6	1000	.308	.00	1.12	1.50	.267	-2.511
56		V7-S	30	20	26.8	40.32	-53.7	53.7	0	0	2	16	600.0	18.4	1000	.245	.00	1.12	1.50	.153	-2.503
57		V8-S	30	20	26.8	68.70	-91.9	91.9	0	0	2	16	600.0	38.0	1000	.118	.00	1.12	1.50	.126	-2.492
58		V9-S	30	20	25.6	55.80	-74.2	74.2	0	0	2	22	400.0	18.4	1000	.323	.00	1.17	1.50	.231	-2.507
59		V10-S	30	20	25.6	71.68	-95.5	95.5	0	0	2	22	400.0	37.9	1000	.157	.00	1.17	1.50	.144	-2.502
60		V11-S	30	20	25.6	55.50	-74.2	74.2	0	0	2	22	400.0	19.0	1000	.313	.00	1.17	1.50	.223	-2.493
61		V12-S	30	20	25.6	59.09	-79.2	79.2	0	0	2	22	400.0	14.0	1000	.424	.00	1.17	1.50	.322	-2.487
62	WALTHER /	D-1-S	15	100	13.3	66.20	-63.0	63.0	0	0	10	12	515.0	19.5	4000	.225	.00	1.13	.15	.192	-7.005
63	DIETERLE	D-1F-S	15	100	13.3	64.70	-61.0	61.0	0	0	10	12	515.0	19.5	4000	.225	.00	1.13	.15	.188	-7.071
64	/16/	D-2-S	15	105	13.0	56.00	-53.0	53.0	0	0	10	12	515.0	15.0	1000	.284	.00	1.15	.14	.210	-7.044
65		D-3-S	15	105	12.7	61.50	-58.0	58.0	0	0	14	10	546.0	15.0	4000	.300	.00	1.18	.14	.242	-7.069
66		D-4-S	15	105	13.5	61.50	-58.0	58.0	0	0	10	12	515.0	19.2	4000	.214	.00	1.13	.14	.167	-6.976
67		D-1Q-S	15	105	13.0	77.50	-73.0	73.0	0	0	10	12	515.0	19.2	4080	.222	.00	1.15	.14	.227	-7.078
68		D-2F-S	15	105	13.6	75.80	-72.0	72.0	0	0	10	12	515.0	19.6	4080	.208	.00	1.13	.15	.199	-6.836

Negative Rahmenecken Leichtbeton /Stiel/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$n \frac{\lambda_s}{\sigma}$ (mm)	$n \frac{\lambda_p}{\sigma}$ (mm)	$\beta_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_p$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	$\mu$ (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$\mu_y$ (-)	$\eta$ (-)
1	MAYFIELD /	1-3-S	20	15	14.7	27.40	-21.9	.0	2 12	2 12	450.0	21.0	5000	.220	1.00	1.36	1.33	.403	-6.256
2	KONG /	1-4-S	20	15	14.7	30.10	-24.1	.0	2 12	2 12	450.0	21.0	5000	.220	1.00	1.36	1.33	.442	-6.245
3	BENNISON /	2-3-S	20	15	14.7	12.20	-9.8	.0	2 12	2 12	450.0	19.0	4000	.243	1.00	1.36	1.33	.198	-6.224
4	DAVIS	2-4-S	20	15	14.7	15.10	-12.1	.0	2 12	2 12	450.0	19.0	4000	.243	1.00	1.36	1.33	.245	-6.240
5	/18/	3-2-S	20	15	14.7	17.00	-13.6	.0	2 12	2 12	450.0	24.0	1001	.192	1.00	1.36	1.33	.219	-6.250
6		4A-2-S	20	15	14.7	17.80	-14.2	.0	2 12	2 12	450.0	22.0	1001	.210	1.00	1.36	1.33	.250	-6.268
7		5A-3-S	20	15	14.7	15.30	-12.2	.0	2 12	2 12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.230	-6.270
8		5A-4-S	20	15	14.7	16.10	-12.9	.0	2 12	2 12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.242	-6.240
9		5B-3-S	20	15	14.7	16.70	-13.4	.0	2 12	2 12	450.0	23.0	1011	.201	1.00	1.36	1.33	.224	-6.231
10		5B-4-S	20	15	14.7	18.50	-14.8	.0	2 12	2 12	450.0	23.0	1011	.201	1.00	1.36	1.33	.248	-6.250
11		5C-2-S	20	15	14.7	15.60	-12.5	.0	2 12	2 12	450.0	19.5	1011	.237	1.00	1.36	1.33	.247	-6.240
12		5D-2-S	20	15	14.7	17.10	-13.7	.0	2 12	2 12	450.0	17.5	1011	.264	1.00	1.36	1.33	.301	-6.241
13		5E-2-S	20	15	14.7	18.80	-15.0	.0	2 12	2 16	450.0	24.5	1011	.335	.56	1.36	1.33	.237	-6.267
14		5F-2-S	20	15	14.7	9.10	-7.3	.0	2 12	2 8	450.0	22.5	1011	.091	2.25	1.36	1.33	.125	-6.233
15		12-2-S	20	15	14.7	17.20	-13.8	.0	2 12	2 12	450.0	20.0	1021	.231	1.00	1.36	1.33	.265	-6.232

Negative Rahmenecken Normalbeton /Riegel/										$\lambda_{s0}$		$\lambda_{s0}$		$\beta_{s0}$		$\beta_{p0}$		BEW.F	u	γ	D/H	D/B	$\mu_y$	η
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q		$n_{s0}$	$n_{s0}$	$n_{s0}$	$n_{s0}$	$\beta_{s0}$	$\beta_{s0}$	$\beta_{p0}$	$\beta_{p0}$							
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	KORDINA /	V7-R	90	25	84.0	971.30	-265.0	265.0		2	12	10	20	409.9	25.5	1072		.240	.07	1.07	3.60	.216	-4.073	
2	WIEDEMANN/7/	V9-R	60	84	53.9	953.10	-455.0	455.0		6	12	6	28	447.0	34.0	3032		.107	.18	1.11	.71	.115	-3.491	
3	STROBAND /	A1-R	12	7	10.8	2.60	-4.2	11.5		2	6	2	6	450.0	16.9	1002		.199	1.00	1.11	1.71	.188	-5.159	
4	KOLPA	A2-R	12	7	10.8	3.14	-5.0	12.8		2	6	2	6	450.0	21.3	1052		.158	1.00	1.11	1.71	.181	-5.233	
5	/25/	A3-R	12	7	10.8	3.16	-5.0	12.3		2	6	2	6	450.0	19.3	1062		.174	1.00	1.11	1.71	.201	-5.267	
6		A4-R	12	7	10.8	3.08	-4.9	12.4		2	6	2	6	450.0	18.6	1002		.181	1.00	1.11	1.71	.203	-5.238	
7		A5-R	12	7	10.8	3.14	-5.0	12.7		2	6	2	6	450.0	20.8	1052		.162	1.00	1.11	1.71	.185	-5.233	
8		A6-R	12	7	10.8	3.42	-5.4	13.2		2	6	2	6	450.0	18.6	1062		.181	1.00	1.11	1.71	.225	-5.278	
9		A7-R	12	7	10.8	2.91	-4.7	12.9		2	6	2	6	450.0	19.2	1002		.175	1.00	1.11	1.71	.186	-5.160	
10		A8-R	12	7	10.8	3.49	-5.5	13.2		2	6	2	6	450.0	21.3	1052		.158	1.00	1.11	1.71	.201	-5.288	
11		A9-R	12	7	10.8	3.54	-5.6	13.8		2	6	2	6	450.0	19.3	1062		.174	1.00	1.11	1.71	.225	-5.268	
12		A10-R	12	7	10.8	2.46	-4.0	11.4		2	6	2	6	450.0	16.9	4000		.199	1.00	1.11	1.71	.178	-5.125	
13		A11-R	12	7	10.8	2.64	-4.3	12.2		2	6	2	6	450.0	20.8	4050		.162	1.00	1.11	1.71	.155	-5.116	
14		A12-R	12	7	10.8	3.47	-5.5	13.8		2	6	2	6	450.0	19.3	4060		.174	1.00	1.11	1.71	.220	-5.258	
15		A13-R	12	7	10.8	2.66	-4.3	11.8		2	6	2	6	450.0	18.6	4000		.181	1.00	1.11	1.71	.175	-5.155	
16		A14-R	12	7	10.8	3.21	-5.1	12.8		2	6	2	6	450.0	16.9	4050		.199	1.00	1.11	1.71	.233	-5.245	
17		A15-R	12	7	10.8	3.18	-5.1	13.5		2	6	2	6	450.0	20.8	4060		.162	1.00	1.11	1.71	.187	-5.196	
18		A16-R	12	7	10.8	2.80	-4.5	12.0		2	6	2	6	450.0	19.2	4000		.175	1.00	1.11	1.71	.179	-5.185	
19		A17-R	12	7	10.8	3.22	-5.1	12.7		2	6	2	6	450.0	21.3	4050		.158	1.00	1.11	1.71	.185	-5.261	
20		A18-R	12	7	10.8	3.60	-5.7	14.1		2	6	2	6	450.0	19.2	4060		.175	1.00	1.11	1.71	.230	-5.263	
21		A19-R	12	7	10.8	2.25	-3.7	10.9		2	6	2	6	450.0	18.1	2062		.186	1.00	1.11	1.71	.152	-5.068	
22		A20-R	12	7	10.8	3.00	-4.8	12.5		2	6	2	6	450.0	18.1	2062		.186	1.00	1.11	1.71	.203	-5.208	
23		A21-R	12	7	10.8	3.29	-5.2	12.8		2	6	2	6	450.0	18.1	2062		.186	1.00	1.11	1.71	.223	-5.272	
24		A22-R	12	7	10.8	2.83	-4.8	16.1		4	6	2	6	450.0	17.8	1002		.189	2.00	1.11	1.71	.195	-4.913	
25		A23-R	12	7	10.8	2.73	-4.6	15.1		4	6	2	6	450.0	17.8	1052		.189	2.00	1.11	1.71	.188	-4.946	
26		A24-R	12	7	10.8	2.60	-4.5	16.1		4	6	2	6	450.0	17.0	1052		.198	2.00	1.11	1.71	.187	-4.815	
27		A25-R	12	7	10.8	2.02	-3.3	9.4		2	6	2	6	450.0	9.5	1052		.354	1.00	1.11	1.71	.260	-5.101	
28		A26-R	12	7	10.8	1.89	-3.1	9.0		2	6	2	6	450.0	9.5	2062		.354	1.00	1.11	1.71	.244	-5.081	
29		A27-R	12	7	10.8	2.02	-3.3	9.6		2	6	2	6	450.0	9.0	2062		.374	1.00	1.11	1.71	.275	-5.101	
30		A28-R	12	7	10.8	1.49	-2.6	9.6		4	6	2	6	450.0	7.1	1002		.474	2.00	1.11	1.71	.257	-4.776	
31		A29-R	12	7	10.8	1.73	-3.0	10.8		4	6	2	6	450.0	10.6	1052		.318	2.00	1.11	1.71	.200	-4.806	
32		A30-R	12	7	10.8	1.60	-2.8	10.5		4	6	2	6	450.0	9.3	4000		.362	2.00	1.11	1.71	.211	-4.762	
33		A31-R	12	7	10.8	2.01	-3.5	12.9		4	6	2	6	450.0	9.8	4050		.343	2.00	1.11	1.71	.251	-4.786	
34		A32-R	12	7	10.8	1.77	-3.1	11.6		4	6	2	6	450.0	9.0	4050		.374	2.00	1.11	1.71	.241	-4.758	
35		A33-R	12	7	10.8	1.98	-3.5	13.5		4	6	2	6	450.0	9.8	4050		.343	2.00	1.11	1.71	.247	-4.714	
36	SWANN	103-R	15	15	12.3	13.49	.0	12.1		2	19	2	19	295.0	23.3	5080		.384	1.00	1.24	1.00	.252	-	-
37	/17/	104-R	15	15	12.3	13.09	.0	11.7		2	19	2	19	295.0	22.9	4080		.391	1.00	1.24	1.00	.249	-	-
38		106-R	15	15	12.3	13.71	.0	12.3		2	19	2	19	295.0	22.4	4080		.399	1.00	1.24	1.00	.266	-	-
39		109-R	15	15	12.3	14.81	.0	13.3		2	19	2	19	295.0	19.9	1011		.450	1.00	1.24	1.00	.324	-	-
40		110-R	15	15	12.3	17.32	.0	15.5		2	19	2	19	295.0	22.0	1011		.407	1.00	1.24	1.00	.342	-	-
41	BALINT /	NS004/2-R	15	15	13.3	4.46	.0	4.0		2	6	3	6	450.0	26.9	1002		.070	.67	1.14	1.00	.062	-	-
42	TAYLOR	NS008/2-R	15	15	13.2	8.40	.0	7.5		2	10	3	10	450.0	32.2	1002		.164	.67	1.15	1.00	.098	-	-
43	/13/	NS014/1-R	15	15	12.4	14.20	.0	12.7		2	12	3	12	450.0	21.7	1002		.373	.67	1.23	1.00	.280	-	-
44		NSM10/2-R	15	15	12.4	13.85	.0	12.4		2	12	2	12	450.0	25.2	1042		.214	1.00	1.23	1.00	.235	-	-
45		S10R1-R	15	15	12.4	13.22	.0	11.8		2	12	2	12	450.0	31.6	1114		.171	1.00	1.23	1.00	.179	-	-
46		S10M14/1-	15	15	12.4	14.34	.0	12.8		2	12	2	12	450.0	35.8	1044		.151	1.00	1.23	1.00	.171	-	-
47		S15R2-R	15	15	12.4	14.62	.0	13.1		2	12	2	12	450.0	27.5	1114		.196	1.00	1.23	1.00	.227	-	-
48		S15M14/1-	15	15	12.4	13.40	.0	12.0		2	12	2	12	450.0	25.2	1044		.214	1.00	1.23	1.00	.228	-	-
49		S15M10/2-	15	15	12.4	13.80	.0	12.3		2	12	2	12	450.0	32.9	1044		.164	1.00	1.23	1.00	.179	-	-



Negative Rahmenecken Normalbeton /Riegel/

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	Abmessungen / Abstände			M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	$\lambda_{s1}$		$\lambda_{s2}$		$\beta_{s1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta_{s2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	BEW.F	u [-]	$\gamma$ [-]	D/H [-]	D/B [-]	$\mu_1$ [-]	$\eta$ [-]
			D (cm)	B (cm)	H (cm)				n	n											
50	OESTLUND	V1-R	30	20	26.8	54.97	-73.5	73.5	0	0	2	16	600.0	27.7	1000	.163	.00	1.12	1.50	.138	-2.493
51	/26/	V2-R	30	20	26.8	34.40	-46.0	46.0	0	0	2	16	600.0	12.5	1000	.360	.00	1.12	1.50	.192	-2.493
52		V3-R	30	20	26.8	63.67	-84.9	84.9	0	0	2	16	600.0	27.8	1000	.162	.00	1.12	1.50	.159	-2.500
53		V4-R	30	20	26.8	47.78	-63.6	63.6	0	0	2	16	600.0	14.7	1000	.306	.00	1.12	1.50	.226	-2.504
54		V5-R	30	20	26.8	68.70	-91.9	91.9	0	0	2	16	600.0	27.2	1000	.165	.00	1.12	1.50	.176	-2.492
55		V6-R	30	20	26.8	55.90	-74.2	74.2	0	0	2	16	600.0	14.6	1000	.308	.00	1.12	1.50	.267	-2.511
56		V7-R	30	20	26.8	40.32	-53.7	53.7	0	0	2	16	600.0	18.4	1000	.245	.00	1.12	1.50	.153	-2.503
57		V8-R	30	20	26.8	68.70	-91.9	91.9	0	0	2	16	600.0	38.0	1000	.118	.00	1.12	1.50	.126	-2.492
58		V9-R	30	20	25.6	55.80	-74.2	74.2	0	0	2	22	400.0	18.4	1000	.323	.00	1.17	1.50	.231	-2.507
59		V10-R	30	20	25.6	71.68	-95.5	95.5	0	0	2	22	400.0	37.9	1000	.157	.00	1.17	1.50	.144	-2.502
60		V11-R	30	20	25.6	55.50	-74.2	74.2	0	0	2	22	400.0	19.0	1000	.313	.00	1.17	1.50	.223	-2.493
61		V12-R	30	20	25.6	59.09	-79.2	79.2	0	0	2	22	400.0	14.0	1000	.424	.00	1.17	1.50	.322	-2.487
62	WALTHER /	D-1-R	15	100	13.3	66.20	-63.0	63.0	0	0	10	12	515.0	19.5	4000	.225	.00	1.13	.15	.192	-7.005
63	DIETERLE	D-1P-R	15	100	13.3	64.70	-61.0	61.0	0	0	10	12	515.0	19.5	4000	.225	.00	1.13	.15	.188	-7.071
64	/16/	D-2-R	15	105	13.0	56.00	-53.0	53.0	0	0	10	12	515.0	15.0	1000	.284	.00	1.15	.14	.210	-7.044
65		D-3-R	15	105	12.7	61.50	-58.0	58.0	0	0	14	10	546.0	15.0	4000	.300	.00	1.18	.14	.242	-7.069
66		D-4-R	15	105	13.5	61.50	-58.0	58.0	0	0	10	12	515.0	19.2	4000	.214	.00	1.13	.14	.167	-6.976
67		D-1Q-R	15	105	13.0	77.50	-73.0	73.0	0	0	10	12	515.0	19.2	4080	.222	.00	1.15	.14	.227	-7.078
68		D-2P-R	15	105	13.6	75.80	-72.0	72.0	0	0	10	12	515.0	19.6	4080	.208	.00	1.13	.15	.199	-6.836

Negative Rahmenecken Leichtbeton /Riegel/

Negative Rahmenecken Leichtbeton /Riegel/									$\lambda_{s1}$		$\lambda_{s2}$											
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	n	$\sigma_s$	n	$\sigma_s$	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	BEW.F	u	$\gamma$	D/H	D/B	$\mu_1$	$\eta$	
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)		(mm)		(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
1	MAYFIELD /	1-3-R	20	15	14.7	27.40	.0	21.9	2	12	4	12	450.0	21.0	5000	.440	.50	1.36	1.33	.403	-	
2	KONG /	1-4-R	20	15	14.7	30.10	.0	24.1	2	12	4	12	450.0	21.0	5000	.440	.50	1.36	1.33	.442	-	
3	BENNISON /	2-3-R	20	15	14.7	12.20	.0	9.8	2	12	2	12	450.0	19.0	4000	.243	1.00	1.36	1.33	.198	-	
4	DAVIS	2-4-R	20	15	14.7	15.10	.0	12.1	2	12	2	12	450.0	19.0	4000	.243	1.00	1.36	1.33	.245	-	
5	/18/	3-2-R	20	15	14.7	17.00	.0	13.6	2	12	2	12	450.0	24.0	1001	.192	1.00	1.36	1.33	.219	-	
6		4A-2-R	20	15	14.7	17.80	.0	14.2	2	12	2	12	450.0	22.0	1001	.210	1.00	1.36	1.33	.250	-	
7		5A-3-R	20	15	14.7	15.30	.0	12.2	2	12	2	12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.230	-	
8		5A-4-R	20	15	14.7	16.10	.0	12.9	2	12	2	12	450.0	20.5	1011	.225	1.00	1.36	1.33	.242	-	
9		5B-3-R	20	15	14.7	16.70	.0	13.4	2	12	2	12	450.0	23.0	1011	.201	1.00	1.36	1.33	.224	-	
10		5B-4-R	20	15	14.7	18.50	.0	14.8	2	12	2	12	450.0	23.0	1011	.201	1.00	1.36	1.33	.248	-	
11		5C-2-R	20	15	14.7	15.60	.0	12.5	2	12	2	12	450.0	19.5	1011	.237	1.00	1.36	1.33	.247	-	
12		5D-2-R	20	15	14.7	17.10	.0	13.7	2	12	2	12	450.0	17.5	1011	.264	1.00	1.36	1.33	.301	-	
13		5E-2-R	20	15	14.7	18.80	.0	15.0	2	12	2	16	450.0	24.5	1011	.335	.56	1.36	1.33	.237	-	
14		5F-2-R	20	15	14.7	9.10	.0	7.3	2	12	2	8	450.0	22.5	1011	.091	2.25	1.36	1.33	.125	-	
15		12-2-R	20	15	14.7	17.20	.0	13.8	2	12	2	12	450.0	20.0	1021	.231	1.00	1.36	1.33	.265	-	

Rahmenendknoten, eben /Riegel/			D B H			M		N		Q		$\lambda_{\text{B}}^{\text{I}}$		$\lambda_{\text{B}}$		$\beta_{\text{B}}$		$\beta_{\text{D}}$		BEW.F		$\mu$		$\gamma$		D/H		D/B		$m_{\text{A}}$		$\eta$	
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$n$	$\phi$	$n$	$\phi$	$\beta_{\text{B}}$	$\beta_{\text{D}}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_{\text{A}}$	$\eta$	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_{\text{A}}$	$\eta$	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_{\text{A}}$	$\eta$
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]					[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	KORDINA	RE2-R	40	20	36.6	67.00	.0	67.0	2	12	2	20	420.0	21.6	2410	.167	.36	1.09	2.00	.116	-	-											
2	/6/	RE3-R	30	20	26.6	80.00	.0	80.0	2	12	3	20	420.0	34.5	2415	.216	.24	1.13	1.50	.164	-	-											
3		RE4-R	30	20	26.5	51.00	.0	51.0	2	12	2	20	420.0	27.5	2402	.181	.36	1.13	1.50	.132	-	-											
4		RE5-R	30	22	25.3	46.00	.0	46.0	2	12	7	14	420.0	25.2	2200	.323	.21	1.19	1.36	.130	-	-											
5		RE6-R	30	20	26.5	66.00	.0	66.0	2	12	2	20	463.0	27.0	2314	.203	.36	1.13	1.50	.174	-	-											
6		RE7-R	35	23	31.4	117.00	.0	117.0	2	12	3	20	448.0	21.9	2414	.267	.24	1.11	1.52	.236	-	-											
7		RE8-R	35	23	31.4	105.00	.0	105.0	2	12	3	20	464.0	23.9	2614	.253	.24	1.11	1.52	.194	-	-											
8		RE9-R	35	23	31.9	110.00	.0	110.0	2	12	3	20	454.0	24.3	5000	.240	.24	1.10	1.52	.193	-	-											
9		RE10-R	39	23	36.1	100.00	.0	100.0	2	12	3	20	459.0	20.3	2636	.257	.24	1.08	1.70	.164	-	-											
10	SARSAM /	EX1-R	30	15	27.0	59.13	.0	41.6	2	12	2	16	504.0	56.3	2404	.088	.56	1.12	1.99	.095	-	-											
11	PHIPPS	EX2-R	30	15	27.2	55.68	.0	39.2	2	12	2	16	504.0	53.9	2400	.091	.56	1.12	2.01	.092	-	-											
12	/27,28/	EX3-R	30	15	27.2	56.11	.0	84.9	2	12	2	16	504.0	41.3	2404	.119	.56	1.12	2.01	.121	-	-											
13		EX4-R	30	15	27.4	59.00	.0	66.8	2	12	2	16	504.0	49.3	2404	.099	.56	1.11	2.01	.105	-	-											
14		EX5-R	30	15	27.9	55.60	.0	39.2	2	12	2	16	504.0	48.5	2404	.099	.56	1.09	2.01	.097	-	-											
15	BOSSHARD /	VV-R	20	30	17.5	36.10	-72.3	36.1	3	14	3	14	525.0	27.8	2100	.166	1.00	1.14	.67	.141	-2.497												
16	MENN	R1-R	20	24	17.5	28.60	-59.2	28.6	3	14	3	14	525.0	25.3	3500	.228	1.00	1.14	.83	.154	-2.416												
17	/29/	R2-R	20	24	17.5	42.90	-85.4	42.9	3	14	3	14	525.0	33.0	2400	.175	1.00	1.14	.83	.177	-2.512												
18		R3-R	20	24	17.5	39.00	-76.5	39.0	3	14	3	14	525.0	28.2	1600	.205	1.00	1.14	.83	.188	-2.549												
19		R4-R	20	24	17.5	36.70	-71.9	36.7	3	14	3	14	525.0	26.8	1600	.215	1.00	1.14	.83	.186	-2.552												
20	STROBAND /	1001-R	30	15	28.6	27.50	.0	55.0	3	10	3	10	400.0	21.0	1600	.105	1.00	1.05	2.00	.107	-	-											
21	HOEKSTRA	1402-R	30	15	27.6	32.50	.0	65.0	3	14	3	14	400.0	21.0	1600	.212	1.00	1.09	2.00	.135	-	-											
22	/30/	1003-R	30	15	28.6	34.50	.0	69.0	3	10	3	10	400.0	26.5	1600	.083	1.00	1.05	2.00	.106	-	-											
23		1403-R	30	15	27.6	37.50	.0	75.0	3	14	3	14	400.0	26.5	1600	.168	1.00	1.09	2.00	.124	-	-											
24		1005-R	30	15	28.6	34.00	.0	68.0	3	10	3	10	400.0	39.7	1600	.055	1.00	1.05	2.00	.070	-	-											
25		1406-R	30	15	27.6	45.00	.0	90.0	3	14	3	14	400.0	39.7	1600	.112	1.00	1.09	2.00	.099	-	-											
26		1007-R	30	15	28.6	31.50	.0	63.0	3	10	3	10	400.0	26.8	2400	.082	1.00	1.05	2.00	.096	-	-											
27		1408-R	30	15	27.6	34.00	.0	68.0	3	14	3	14	400.0	26.8	2400	.166	1.00	1.09	2.00	.111	-	-											
28		1009-R	30	15	28.6	35.50	.0	71.0	3	10	3	10	400.0	25.2	1610	.087	1.00	1.05	2.00	.115	-	-											
29		1410-R	30	15	27.6	38.50	.0	77.0	3	14	3	14	400.0	25.2	1610	.177	1.00	1.09	2.00	.134	-	-											
30		1011-R	30	15	28.6	36.50	.0	73.0	3	10	3	10	400.0	26.3	1605	.084	1.00	1.05	2.00	.113	-	-											
31		1412-R	30	15	27.6	44.50	.0	89.0	3	14	3	14	400.0	26.3	1605	.170	1.00	1.09	2.00	.148	-	-											
32		1413-R	30	15	27.6	50.00	.0	100.0	3	14	3	14	400.0	38.6	1610	.116	1.00	1.09	2.00	.113	-	-											
33		1414-R	30	15	27.6	50.00	.0	100.0	3	14	3	14	400.0	38.6	1605	.116	1.00	1.09	2.00	.113	-	-											
34		1615-R	30	15	27.3	37.00	.0	74.0	2	20	2	20	400.0	23.3	1600	.263	1.00	1.10	2.00	.142	-	-											
35		1616-R	30	15	27.3	39.50	.0	79.0	2	20	2	20	400.0	23.3	1600	.263	1.00	1.10	2.00	.152	-	-											
36		1017-R	30	15	28.6	35.50	.0	71.0	3	10	3	10	400.0	24.8	1620	.089	1.00	1.05	2.00	.117	-	-											
37		1418-R	30	15	27.6	54.00	.0	108.0	3	14	3	14	400.0	24.8	2320	.180	1.00	1.09	2.00	.191	-	-											
38		1419-R	30	15	27.6	43.00	.0	86.0	3	14	3	14	400.0	25.3	1620	.176	1.00	1.09	2.00	.149	-	-											
39		1620-R	30	15	27.3	62.50	.0	125.0	2	20	2	20	400.0	25.3	2320	.243	1.00	1.10	2.00	.221	-	-											
40	NILSSON	T1-R	20	20	16.7	13.70	.0	9.8	3	16	3	16	405.0	25.7	3500	.285	1.00	1.20	1.00	.096	-	-											
41	/4/	T15-R	20	20	17.4	9.60	.0	6.9	2	12	2	12	679.0	31.5	3500	.140	1.00	1.15	1.00	.050	-	-											
42		T11-R	20	20	17.4	10.70	.0	7.7	4	12	4	12	665.0	30.9	3500	.280	1.00	1.15	1.00	.057	-	-											
43		T14-R	20	20	17.4	13.70	.0	9.8	2	12	2	12	644.0	26.6	1700	.157	1.00	1.15	1.00	.085	-	-											
44		T13-R	20	20	17.4	35.70	.0	25.5	4	12	4	12	643.0	32.1	1600	.260	1.00	1.15	1.00	.184	-	-											
45		T2-R	20	20	16.7	38.40	.0	27.5	3	16	3	16	408.0	19.8	4400	.372	1.00	1.20	1.00	.348	-	-											
46		T12b-R	20	20	17.4	37.80	.0	27.0	4	12	4	12	672.0	25.8	4400	.339	1.00	1.15	1.00	.242	-	-											
47		T16-R	20	20	17.4	23.70	.0	17.0	2	12	2	12	653.0	31.8	4400	.133	1.00	1.15	1.00	.123	-	-											
48		T25-R	20	20	16.7	22.00	.0	15.7	3	16	3	16	679.0	23.4	3500	.524	1.00	1.20	1.00	.169	-	-											
49		T26-R	20	20	16.7	45.40	.0	32.4	3	16	3	16	679.0	28.3	2100	.433	1.00	1.20	1.00	.288	-	-											
50		T27-R	20	20	16.7	48.90	.0	34.9	3	16	3	16	679.0	29.8	4400	.411	1.00	1.20	1.00	.294	-	-											
51		T21-R	20	20	17.4	14.00	-19.6	10.0	4	12	4	12	660.0	28.6	350																		

Rahmenendknoten, eben /Riegel/ NR     AUTOR     BEZEICHNUNG			D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{\text{a}}$ n	$\lambda_{\text{a}}$ n	$\beta_{\text{a}}$ [N/mm2]	$\beta_{\text{p}}$ [N/mm2]	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_{\text{a}}$	$\eta$		
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]				[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		
53	TAYLOR	P1/41/24-	20	10	17.0	16.40	.0	34.9	2	6	2	16	410.0	28.0	2401	-.346	.14	1.18	2.00	.203	-
54	/32/	P2/41/24-	20	10	17.0	16.40	-6.9	34.9	2	6	2	16	410.0	24.7	2401	.393	.14	1.18	2.00	.230	-11.884
55		P2/41/24A	20	10	17.0	22.00	-22.7	46.8	2	6	2	16	410.0	39.5	2401	.246	.14	1.18	2.00	.193	-4.846
56		P1/41/09-	20	10	17.4	15.30	.0	32.6	2	6	3	8	410.0	31.4	2401	.113	.38	1.15	2.00	.161	-
57		A3/41/24-	20	10	17.0	16.30	-6.7	34.7	2	6	2	16	460.0	22.9	2401	.475	.14	1.18	2.00	.246	-12.164
58		A3/41/13-	20	10	17.3	19.50	-15.0	41.5	2	6	3	10	460.0	38.3	2401	.164	.24	1.16	2.00	.170	-6.500
59		A3/41/09-	20	10	17.4	11.20	-6.7	23.8	2	6	3	8	460.0	37.0	2401	.108	.38	1.15	2.00	.100	-8.358
60		A3/41/06-	20	10	17.5	11.10	-16.0	23.6	2	6	3	6	460.0	23.4	2401	.095	.67	1.14	2.00	.155	-3.469
61		B3/41/24-	20	10	17.0	14.20	-4.5	30.2	2	6	2	16	460.0	18.7	2404	.582	.14	1.18	2.00	.263	-15.778
62		C3/41/24X	20	10	17.0	14.00	-5.5	29.8	2	6	2	16	460.0	43.9	2501	.248	.14	1.18	2.00	.110	-12.727
63	R	C3/41/24B	20	10	17.0	13.50	-2.6	28.5	2	6	2	16	460.0	26.9	2601	.404	.14	1.18	2.00	.174	-25.962
64		C3/41/13Y	20	10	17.3	12.50	-7.0	26.6	2	6	3	10	460.0	24.0	2601	.261	.24	1.16	2.00	.174	-8.929
65		C3/41/24Y	20	10	17.0	21.10	-13.7	44.9	2	6	2	16	460.0	50.6	2601	.215	.14	1.18	2.00	.144	-7.701
66		D3/41/24-	20	10	17.0	23.50	-13.8	50.0	2	6	2	16	460.0	45.0	2401	.242	.14	1.18	2.00	.181	-8.514
67		D3/41/13-	20	10	17.3	18.00	-8.4	38.2	2	6	3	10	460.0	47.2	2401	.133	.24	1.16	2.00	.127	-10.714
68		D3/41/09-	20	10	17.4	13.90	-17.5	29.6	2	6	3	8	460.0	36.1	2401	.110	.38	1.15	2.00	.127	-3.971
69		D3/41/06-	20	10	17.5	8.90	-6.0	18.9	2	6	3	6	460.0	17.9	2401	.125	.67	1.14	2.00	.162	-7.417
70		E3/41/24A	20	10	17.0	12.50	-5.0	26.6	2	6	2	16	460.0	36.4	2401	.299	.14	1.18	2.00	.119	-12.500
71		E3/41/24B	20	10	17.0	14.30	-2.2	30.4	2	6	2	16	460.0	37.8	2401	.288	.14	1.18	2.00	.131	-32.500
72		E3/41/24C	20	10	17.0	18.90	-16.0	40.2	2	6	2	16	460.0	35.4	2401	.307	.14	1.18	2.00	.185	-5.906
73		F3/41/24A	12	10	9.8	9.00	-3.9	19.2	2	6	3	10	460.0	31.6	2401	.350	.24	1.28	1.25	.297	-18.462
74		F3/41/16A	12	10	9.9	7.20	-4.5	15.3	2	6	3	8	460.0	17.9	2401	.391	.38	1.26	1.25	.410	-12.800
75		F3/41/24B	12	10	9.8	8.50	-3.6	18.1	2	6	3	10	460.0	29.1	2401	.380	.24	1.28	1.25	.304	-18.889
76		F3/41/16B	12	10	9.9	6.80	-2.5	14.5	2	6	3	8	460.0	20.3	2401	.345	.38	1.26	1.25	.342	-21.760
77		F3/41/24C	12	10	9.8	8.80	-2.7	18.7	2	6	3	10	460.0	29.2	2401	.379	.24	1.28	1.25	.314	-26.074
78		F3/41/16C	12	10	9.9	6.90	-4.8	14.7	2	6	3	8	460.0	32.0	2401	.219	.38	1.26	1.25	.220	-11.500
79	GEORGOUSSIS/	GB1-R	30	15	28.0	22.32	.0	15.5	2	6	3	12	316.0	32.6	2404	.078	.17	1.09	2.03	.058	-
80	PHIPPS	GB2-R	35	15	32.8	19.58	.0	13.6	2	6	2	16	316.0	33.5	2404	.077	.14	1.09	2.37	.036	-
81	/34/	GB3-R	25	15	22.9	16.99	.0	11.8	2	6	3	16	316.0	35.4	2404	.157	.09	1.11	1.69	.061	-

Rahmenendknoten, eben / Stütze, oben /			D B H			M N		Q	$\lambda_{\text{a}}$ n	$\lambda_{\text{a}}$ n	$\beta_{\text{a}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta_{\text{p}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\mu_y$	$\eta$
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	(mm)	(mm)				[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	KORDINA	RE2-O	20	20	17.0	29.50	-240.0	24.6	2 16	2 16	420.0	21.6	2410	.230	1.00	1.18	1.00	.236	-.615
2	/6/	RE3-O	20	20	17.0	36.70	-400.0	29.3	2 16	2 16	420.0	34.5	2415	.144	1.00	1.18	1.00	.184	-.459
3		RE4-O	20	20	17.0	23.60	-51.0	18.7	2 16	2 16	420.0	27.5	2402	.181	1.00	1.18	1.00	.148	-2.314
4		RE5-O	20	20	17.0	21.10	-46.0	16.8	2 16	2 16	420.0	25.2	2200	.197	1.00	1.18	1.00	.145	-2.293
5		RE6-O	20	20	16.9	30.90	-213.0	24.4	2 16	2 16	463.0	27.0	2314	.204	1.00	1.18	1.00	.200	-.725
6		RE7-O	25	23	21.9	54.90	-650.0	44.1	2 16	2 16	448.0	21.9	2414	.163	1.00	1.14	1.09	.227	-.338
7		RE8-O	25	23	20.1	49.20	-525.0	39.6	4 16	2 16	464.0	23.9	2614	.169	2.00	1.24	1.09	.222	-.375
8		RE9-O	25	23	21.9	51.70	-770.0	41.7	2 16	2 16	454.0	24.3	5000	.149	1.00	1.14	1.09	.193	-.269
9		RE10-O	25	23	21.9	46.30	-551.0	37.8	2 16	2 16	459.0	20.3	2636	.181	1.00	1.14	1.09	.207	-.336
10	SARSAM /	EX1-O	20	15	17.3	25.42	-298.4	41.4	2 16	2 16	504.0	45.8	2404	.165	1.00	1.18	1.32	.120	-.416
11	PHIPPS	EX2-O	20	15	17.2	23.93	-304.9	38.9	2 16	2 16	504.0	49.1	2400	.153	1.00	1.19	1.30	.105	-.385
12	/27,28/	EX3-O	20	15	17.2	25.96	-303.3	42.3	2 16	2 16	504.0	40.9	2404	.184	1.00	1.19	1.30	.137	-.420
13		EX4-O	20	15	17.2	26.38	-311.3	42.8	2 16	2 16	504.0	43.3	2404	.173	1.00	1.19	1.30	.131	-.415
14		EX5-O	20	15	17.3	23.89	-882.5	38.9	2 16	2 16	504.0	49.4	2404	.153	1.00	1.19	1.33	.104	-.131
15	BOSSHARD /	VV-O	20	30	17.5	6.50	.0	13.0	2 8	9 10	525.0	27.8	2100	.254	.14	1.14	.67	.025	-
16	MENN	R1-O	20	30	17.5	5.70	.0	11.4	2 8	9 10	525.0	25.3	3500	.279	.14	1.14	.67	.025	-
17	/29/	R2-O	20	30	17.5	7.50	.0	15.1	2 8	9 10	525.0	33.0	2400	.214	.14	1.14	.67	.025	-
18		R3-O	20	30	17.5	6.50	.0	13.1	2 8	9 10	525.0	28.2	1600	.251	.14	1.14	.67	.025	-
19		R4-O	20	30	17.5	6.10	.0	15.5	2 8	9 10	525.0	26.8	1600	.264	.14	1.14	.67	.025	-
20	STROBAND /	1001-O	20	15	18.6	13.70	-52.0	18.3	2 10	2 10	400.0	21.0	1600	.107	1.00	1.08	1.33	.126	-1.317
21	HOEKSTRA	1402-O	20	15	17.6	16.30	-48.0	21.7	2 14	2 14	400.0	21.0	1600	.222	1.00	1.14	1.33	.167	-1.698
22	/30/	1003-O	20	15	18.6	17.30	-186.0	23.0	2 10	2 10	400.0	26.5	1600	.085	1.00	1.08	1.33	.126	-.465
23		1403-O	20	15	17.6	18.80	-210.0	25.0	2 14	2 14	400.0	26.5	1600	.176	1.00	1.14	1.33	.153	-.448
24		1005-O	20	15	18.6	17.00	-59.0	22.7	2 10	2 10	400.0	39.7	1600	.057	1.00	1.08	1.33	.083	-1.441
25		1406-O	20	15	17.6	22.50	-45.0	30.0	2 14	2 14	400.0	39.7	1600	.118	1.00	1.14	1.33	.122	-2.500
26		1007-O	20	15	18.6	15.80	-55.0	21.0	2 10	2 10	400.0	26.8	2400	.084	1.00	1.08	1.33	.114	-1.436
27		1408-O	20	15	17.6	17.00	-47.0	22.7	2 14	2 14	400.0	26.8	2400	.174	1.00	1.14	1.33	.137	-1.809
28		1009-O	20	15	18.6	17.80	-72.0	23.7	2 10	2 10	400.0	25.2	1610	.089	1.00	1.08	1.33	.136	-1.236
29		1410-O	20	15	17.6	19.30	-48.0	25.7	2 14	2 14	400.0	25.2	1610	.185	1.00	1.14	1.33	.165	-2.010
30		1011-O	20	15	18.6	18.20	-76.0	24.3	2 10	2 10	400.0	26.3	1605	.086	1.00	1.08	1.33	.133	-1.197
31		1412-O	20	15	17.6	22.30	-52.0	29.7	2 14	2 14	400.0	26.3	1605	.177	1.00	1.14	1.33	.182	-2.144
32		1413-O	20	15	17.6	25.00	-48.0	33.3	2 14	2 14	400.0	38.6	1610	.121	1.00	1.14	1.33	.139	-2.604
33		1414-O	20	15	17.6	25.00	-50.0	33.3	2 14	2 14	400.0	38.6	1605	.121	1.00	1.14	1.33	.139	-2.500
34		1615-O	20	15	17.3	18.50	-70.0	24.7	4 12	4 12	400.0	23.3	1600	.299	1.00	1.16	1.33	.177	-1.321
35		1616-O	20	15	17.3	19.70	-337.0	26.3	4 12	4 12	400.0	23.3	1600	.299	1.00	1.16	1.33	.188	-.292
36		1017-O	20	15	18.6	17.80	-70.0	23.7	2 10	2 10	400.0	24.8	1620	.091	1.00	1.08	1.33	.138	-1.271
37		1418-O	20	15	17.6	27.00	-46.0	36.0	2 14	2 14	400.0	24.8	2320	.188	1.00	1.14	1.33	.234	-2.935
38		1419-O	20	15	17.6	21.50	-47.0	28.7	2 14	2 14	400.0	25.3	1620	.184	1.00	1.14	1.33	.183	-2.287
39		1620-O	20	15	17.3	31.30	-65.0	41.7	4 12	4 12	400.0	25.3	2320	.276	1.00	1.16	1.33	.276	-2.408
40	NILSSON	T1-O	20	20	16.9	6.60	.0	7.7	3 12	3 12	465.0	25.7	3500	.182	1.00	1.18	1.00	.045	-
41	/4/	T15-O	20	20	17.5	4.60	.0	5.4	2 10	2 10	679.0	31.5	3500	.097	1.00	1.14	1.00	.024	-
42		T11-O	20	20	17.5	5.10	.0	6.0	4 10	4 10	664.0	30.9	3500	.193	1.00	1.14	1.00	.027	-
43		T14-O	20	20	17.5	6.60	.0	7.7	2 10	2 10	660.0	26.6	1700	.111	1.00	1.14	1.00	.041	-
44		T13-O	20	20	17.5	17.10	.0	20.1	4 10	4 10	690.0	32.1	1600	.193	1.00	1.14	1.00	.087	-
45		T2-O	20	20	16.9	18.40	.0	21.7	3 12	3 12	473.0	19.8	4400	.240	1.00	1.18	1.00	.163	-
46		T12b-O	20	20	17.5	18.10	.0	21.3	4 10	4 10	603.0	25.8	4400	.210	1.00	1.14	1.00	.115	-
47		T16-O	20	20	17.5	11.40	.0	13.4	2 10	2 10	668.0	31.8	4400	.094	1.00	1.14	1.00	.059	-
48		T25-O	35	20	31.7	10.60	.0	12.4	4 16	4 16	679.0	23.4	3500	.368	1.00	1.10	1.75	.023	-
49		T26-O	35	20	31.7	21.70	.0	25.6	4 16	4 16	679.0	28.3	2100	.304	1.00	1.10	1.75	.038	-
50		T27-O	35	20	31.7	23.40	.0	27.6	4 16	4 16	679.0	29.8	4400	.289	1.00	1.10	1.75	.039	-
51		T21-O	35	20	17.5	1.62	.0	1.9	4 10	4 12	634.0	28.6	3500	.287	.69	2.00	1.75	.009	-
52		T22-O	35	20	17.5	12.72	.0	15.0	4 12	4 10	669.0	25.5	4400	.235	1.44	2.00	1.75	.081	-

NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{s1}$ n (mm)	$\lambda_{s2}$ n (mm)	$\beta_{s1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_{s2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	$\mu$ (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$\epsilon_{yk}$ (-)	$\eta$ (-)
53	TAYLOR	P1/41/24-	14	14	11.0	7.90	-240.0	14.9	2 16	2 16	410.0	28.0	2401	.382	1.00	1.27	1.00	.167	-.235
54	/32/	P2/41/24-	14	14	11.0	5.86	-240.0	11.1	2 16	2 16	410.0	24.7	2401	.433	1.00	1.27	1.00	.140	-.174
55		P2/41/24A	14	14	11.0	4.21	-240.0	7.9	2 16	2 16	410.0	39.5	2401	.271	1.00	1.27	1.00	.063	-.125
56		P1/41/09-	14	14	11.0	7.32	-240.0	13.8	2 16	2 16	410.0	31.4	2401	.341	1.00	1.27	1.00	.138	-.218
57		A3/41/24-	14	14	11.0	5.86	-240.0	11.1	2 16	2 16	460.0	22.9	2401	.525	1.00	1.27	1.00	.151	-.174
58		A3/41/13-	14	14	11.0	5.12	-240.0	9.7	2 16	2 16	460.0	38.3	2401	.314	1.00	1.27	1.00	.079	-.152
59		A3/41/09-	14	14	11.0	3.47	-240.0	6.6	2 16	2 16	460.0	37.0	2401	.325	1.00	1.27	1.00	.055	-.103
60		A3/41/06-	14	14	11.0	.92	-240.0	1.7	2 16	2 16	460.0	23.4	2401	.513	1.00	1.27	1.00	.023	-.027
61		B3/41/24-	14	14	11.0	5.49	-240.0	10.4	2 16	2 16	460.0	18.7	2404	.642	1.00	1.27	1.00	.173	-.163
62		C3/41/24X	14	14	11.0	5.12	-240.0	9.7	2 16	2 16	460.0	43.9	2501	.274	1.00	1.27	1.00	.069	-.152
63		C3/41/24B	14	14	11.0	5.67	-240.0	10.7	2 16	2 16	460.0	26.9	2601	.447	1.00	1.27	1.00	.124	-.169
64		C3/41/13Y	14	14	11.0	4.02	-240.0	7.6	2 16	2 16	460.0	24.0	2601	.500	1.00	1.27	1.00	.099	-.120
65		C3/41/24Y	14	14	11.0	6.22	-240.0	11.7	2 16	2 16	460.0	50.6	2601	.237	1.00	1.27	1.00	.073	-.185
66		D3/41/24-	14	14	11.0	7.32	-60.0	13.8	2 16	2 16	460.0	45.0	2401	.267	1.00	1.27	1.00	.096	-.871
67		D3/41/13-	14	14	11.0	6.22	-60.0	11.7	2 16	2 16	460.0	47.2	2401	.254	1.00	1.27	1.00	.078	-.740
68		D3/41/09-	14	14	11.0	1.83	-60.0	3.4	2 16	2 16	460.0	36.1	2401	.333	1.00	1.27	1.00	.030	-.218
69		D3/41/06-	14	14	11.0	2.56	-60.0	4.8	2 16	2 16	460.0	17.9	2401	.671	1.00	1.27	1.00	.084	-.305
70		E3/41/24A	14	14	11.0	4.57	-240.0	8.6	2 16	2 16	460.0	36.4	2401	.330	1.00	1.27	1.00	.074	-.136
71		E3/41/24B	14	14	11.0	6.14	-240.0	11.6	2 16	2 16	460.0	37.8	2401	.318	1.00	1.27	1.00	.096	-.183
72		E3/41/24C	14	14	11.0	4.57	-240.0	8.6	2 16	2 16	460.0	35.4	2401	.339	1.00	1.27	1.00	.076	-.136
73		F3/41/24A	14	14	11.0	3.34	-240.0	5.8	2 16	2 16	460.0	31.6	2401	.380	1.00	1.27	1.00	.062	-.099
74		F3/41/16A	14	14	11.0	2.35	-240.0	4.1	2 16	2 16	460.0	17.9	2401	.671	1.00	1.27	1.00	.077	-.070
75		F3/41/24B	14	14	11.0	3.34	-240.0	5.8	2 16	2 16	460.0	29.1	2401	.413	1.00	1.27	1.00	.068	-.099
76		F3/41/16B	14	14	11.0	2.74	-240.0	4.8	2 16	2 16	460.0	20.3	2401	.592	1.00	1.27	1.00	.080	-.082
77		F3/41/24C	14	14	11.0	2.73	-60.0	6.5	2 16	2 16	460.0	29.2	2401	.411	1.00	1.27	1.00	.055	-.325
78		F3/41/16C	14	14	11.0	2.16	-60.0	3.8	2 16	2 16	460.0	32.0	2401	.375	1.00	1.27	1.00	.040	-.257
79	GEORGOUSSIS/	GB1-O	15	15	12.5	9.17	-695.0	17.2	2 16	2 16	316.0	32.6	2404	.208	1.00	1.20	1.00	.120	-.088
80	PHIPPS	GB2-O	15	15	12.5	7.83	-490.0	14.1	2 16	2 16	316.0	33.5	2404	.202	1.00	1.20	1.00	.100	-.107
81	/34/	GB3-O	15	15	12.5	7.31	-651.0	13.1	2 16	2 16	316.0	35.4	2404	.191	1.00	1.20	1.00	.088	-.075

Rahmenendknoten, eben / Stütze, unten /			D B H			M	N	Q	$\lambda_{\beta}$	$\lambda_{\beta}$	$\beta_{\beta}$	$\beta_{\beta}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$\eta_1$	$\eta$		
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)	n	n	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
1	KORDINA	RE2-U	20	20	17.0	34.40	-307.0	24.6	2	16	2	16	420.0	21.6	2410	.230	1.00	1.18	1.00	.276	-.560
2	/6/	RE3-U	20	20	17.0	42.50	-480.0	29.3	2	16	2	16	420.0	34.5	2415	.144	1.00	1.18	1.00	.213	-.443
3		RE4-U	20	20	17.0	26.90	-102.0	18.7	2	16	2	16	420.0	27.5	2402	.181	1.00	1.18	1.00	.169	-1.319
4		RE5-U	20	20	17.0	24.50	-92.0	16.8	2	16	2	16	420.0	25.2	2200	.197	1.00	1.18	1.00	.168	-1.332
5		RE6-U	20	20	16.9	34.40	-279.0	24.4	2	16	2	16	463.0	27.0	2314	.204	1.00	1.18	1.00	.223	-.616
6		RE7-U	25	23	21.9	61.70	-767.0	44.1	2	16	2	16	448.0	21.9	2414	.163	1.00	1.14	1.09	.255	-.322
7		RE8-U	25	23	20.1	55.40	-630.0	39.6	2	16	4	16	464.0	23.9	2614	.338	.50	1.24	1.09	.249	-.352
8		RE9-U	25	23	21.9	57.60	-880.0	41.7	4	16	4	16	454.0	24.3	5000	.298	1.00	1.14	1.09	.215	-.262
9		RE10-U	25	23	21.9	51.40	-651.0	37.8	2	16	2	16	459.0	20.3	2636	.181	1.00	1.14	1.09	.230	-.316
10	SARSAM /	EX1-U	20	15	17.3	25.42	-340.0	41.4	2	16	2	16	504.0	56.3	2404	.134	1.00	1.18	1.32	.097	-.365
11	PHIPPS	EX2-U	20	15	17.2	23.93	-344.1	38.9	2	16	2	16	504.0	53.9	2400	.139	1.00	1.19	1.30	.096	-.341
12	/27,28/	EX3-U	20	15	17.2	25.96	-388.2	42.3	2	16	2	16	504.0	41.3	2404	.182	1.00	1.19	1.30	.135	-.328
13		EX4-U	20	15	17.2	26.38	-378.1	42.8	2	16	2	16	504.0	49.3	2404	.152	1.00	1.19	1.30	.115	-.342
14		EX5-U	20	15	17.3	23.89	-921.7	38.9	2	16	2	16	504.0	48.5	2404	.156	1.00	1.19	1.33	.106	-.126
15	BOSSHARD /	VV-U	20	30	17.5	41.50	-36.1	59.3	2	8	9	10	525.0	27.8	2100	.254	.14	1.14	.67	.162	-5.748
16	MENN	R1-U	20	30	17.5	33.50	-28.6	47.8	2	8	9	10	525.0	25.3	3500	.279	.14	1.14	.67	.144	-5.857
17	/29/	R2-U	20	30	17.5	49.20	-42.9	70.3	2	8	9	10	525.0	33.0	2400	.214	.14	1.14	.67	.162	-5.734
18		R3-U	20	30	17.5	44.40	-39.0	63.4	2	8	9	10	525.0	28.2	1600	.251	.14	1.14	.67	.171	-5.692
19		R4-U	20	30	17.5	41.80	-36.7	48.1	2	8	9	10	525.0	26.8	1600	.264	.14	1.14	.67	.170	-5.695
20	STROBAND /	1001-U	20	15	18.6	13.70	-107.0	18.3	2	10	2	10	400.0	21.0	1600	.107	1.00	1.08	1.33	.126	-.640
21	HOEKSTRA	1402-U	20	15	17.6	16.30	-113.0	21.7	2	14	2	14	400.0	21.0	1600	.222	1.00	1.14	1.33	.167	-.721
22	/30/	1003-U	20	15	18.6	17.30	-255.0	23.0	2	10	2	10	400.0	26.5	1600	.085	1.00	1.08	1.33	.126	-.339
23		1403-U	20	15	17.6	18.80	-285.0	25.0	2	14	2	14	400.0	26.5	1600	.176	1.00	1.14	1.33	.153	-.330
24		1005-U	20	15	18.6	17.00	-127.0	22.7	2	10	2	10	400.0	39.7	1600	.057	1.00	1.08	1.33	.083	-.669
25		1406-U	20	15	17.6	22.50	-135.0	30.0	2	14	2	14	400.0	39.7	1600	.118	1.00	1.14	1.33	.122	-.833
26		1007-U	20	15	18.6	15.80	-118.0	21.0	2	10	2	10	400.0	26.8	2400	.084	1.00	1.08	1.33	.114	-.669
27		1408-U	20	15	17.6	17.00	-115.0	22.7	2	14	2	14	400.0	26.8	2400	.174	1.00	1.14	1.33	.137	-.739
28		1009-U	20	15	18.6	17.80	-143.0	23.7	2	10	2	10	400.0	25.2	1610	.089	1.00	1.08	1.33	.136	-.622
29		1410-U	20	15	17.6	19.30	-125.0	25.7	2	14	2	14	400.0	25.2	1610	.185	1.00	1.14	1.33	.165	-.772
30		1011-U	20	15	18.6	18.20	-149.0	24.3	2	10	2	10	400.0	26.3	1605	.086	1.00	1.08	1.33	.133	-.611
31		1412-U	20	15	17.6	22.30	-141.0	29.7	2	14	2	14	400.0	26.3	1605	.177	1.00	1.14	1.33	.182	-.791
32		1413-U	20	15	17.6	25.00	-148.0	33.3	2	14	2	14	400.0	38.6	1610	.121	1.00	1.14	1.33	.139	-.845
33		1414-U	20	15	17.6	25.00	-150.0	33.3	2	14	2	14	400.0	38.6	1605	.121	1.00	1.14	1.33	.139	-.833
34		1615-U	20	15	17.3	18.50	-144.0	24.7	4	12	4	12	400.0	23.3	1600	.299	1.00	1.16	1.33	.177	-.642
35		1616-U	20	15	17.3	19.70	-416.0	26.3	4	12	4	12	400.0	23.3	1600	.299	1.00	1.16	1.33	.188	-.237
36		1017-U	20	15	18.6	17.80	-141.0	23.7	2	10	2	10	400.0	24.8	1620	.091	1.00	1.08	1.33	.138	-.631
37		1418-U	20	15	17.6	27.00	-154.0	36.0	2	14	2	14	400.0	24.8	2320	.188	1.00	1.14	1.33	.234	-.877
38		1419-U	20	15	17.6	21.50	-133.0	28.7	2	14	2	14	400.0	25.3	1620	.184	1.00	1.14	1.33	.183	-.808
39		1620-U	20	15	17.3	31.30	-190.0	41.7	4	12	4	12	400.0	25.3	2320	.276	1.00	1.16	1.33	.276	-.824
40	NILSSON	T1-U	20	20	16.9	6.60	-9.8	7.7	3	12	3	12	465.0	25.7	3500	.182	1.00	1.18	1.00	.045	-3.367
41	/4/	T15-U	20	20	17.5	4.60	-6.9	5.4	2	10	2	10	679.0	31.5	3500	.097	1.00	1.14	1.00	.024	-3.333
42		T11-U	20	20	17.5	5.10	-7.7	6.0	4	10	4	10	664.0	30.9	3500	.193	1.00	1.14	1.00	.027	-3.312
43		T14-U	20	20	17.5	6.60	-9.8	7.7	2	10	2	10	660.0	26.6	1700	.111	1.00	1.14	1.00	.041	-3.367
44		T13-U	20	20	17.5	17.10	-25.5	20.1	4	10	4	10	690.0	32.1	1600	.193	1.00	1.14	1.00	.087	-3.353
45		T2-U	20	20	16.9	18.40	-27.5	21.7	3	12	3	12	473.0	19.8	4400	.240	1.00	1.18	1.00	.163	-3.345
46		T12b-U	20	20	17.5	18.10	-27.0	21.3	4	10	4	10	603.0	25.8	4400	.210	1.00	1.14	1.00	.115	-3.352
47		T16-U	20	20	17.5	11.40	-17.0	13.4	2	10	2	10	668.0	31.8	4400	.094	1.00	1.14	1.00	.059	-3.353
48		T25-U	35	20	31.7	10.60	-15.7	12.4	4	16	4	16	679.0	23.4	3500	.368	1.00	1.10	1.75	.023	-1.929
49		T26-U	35	20	31.7	21.70	-32.4	25.6	4	16	4	16	679.0	28.3	2100	.304	1.00	1.10	1.75	.038	-1.914
50		T27-U	35	20	31.7	23.40	-34.9	27.6	4	16	4	16	679.0	29.8	4400	.289	1.00	1.10	1.75	.039	-1.916
51		T21-U	35	20	17.5	15.00	-10.0	17.7	4	10	4	12	634.0	28.6	3500	.287	.69	2.00	1.75	.086	-4.286
52		T22-U	35	20	17.5	29.40	-31.3	34.6	4	10	4	12	669.0	25.5	4400	.339	.69	2.00	1.75	.188	-2.684

Rahmenendknoten, eben /Stütze, unten/								$\lambda_{s1}$		$\lambda_{s2}$		$\beta_{s1}$		$\beta_{s2}$		BEW.F		u		$\gamma$		D/H		D/B		$m_s$		$\eta$	
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	n	n	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	$\beta_{s1}$	$\beta_{s2}$	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]										
53	TAYLOR	P1/41/24-	14	14	11.0	8.00	-274.9	14.2	2	16	2	16	410.0	28.0	2401	.382	1.00	1.27	1.00	.169									
54	/32/	P2/41/24-	14	14	11.0	10.05	-274.9	17.9	2	16	2	16	410.0	24.7	2401	.433	1.00	1.27	1.00	.240									
55		P2/41/24A	14	14	11.0	17.18	-286.8	30.7	2	16	2	16	410.0	39.5	2401	.271	1.00	1.27	1.00	.257									
56		P1/41/09-	14	14	11.0	7.40	-272.6	13.2	2	16	2	16	410.0	31.4	2401	.341	1.00	1.27	1.00	.139									
57		A3/41/24-	14	14	11.0	9.97	-274.7	17.8	2	16	2	16	460.0	22.9	2401	.525	1.00	1.27	1.00	.257									
58		A3/41/13-	14	14	11.0	13.83	-281.5	24.7	2	16	2	16	460.0	38.3	2401	.314	1.00	1.27	1.00	.213									
59		A3/41/09-	14	14	11.0	7.44	-263.8	13.3	2	16	2	16	460.0	37.0	2401	.325	1.00	1.27	1.00	.119									
60		A3/41/06-	14	14	11.0	9.94	-263.6	17.7	2	16	2	16	460.0	23.4	2401	.513	1.00	1.27	1.00	.251									
61		B3/41/24-	14	14	11.0	8.30	-270.2	14.8	2	16	2	16	460.0	18.7	2404	.642	1.00	1.27	1.00	.262									
62		C3/41/24X	14	14	11.0	8.48	-269.8	15.1	2	16	2	16	460.0	43.9	2501	.274	1.00	1.27	1.00	.114									
63		C3/41/24B	14	14	11.0	7.42	-268.5	13.3	2	16	2	16	460.0	26.9	2601	.447	1.00	1.27	1.00	.163									
64		C3/41/13Y	14	14	11.0	8.17	-266.6	14.6	2	16	2	16	460.0	24.0	2601	.500	1.00	1.27	1.00	.201									
65		C3/41/24Y	14	14	11.0	14.26	-284.9	25.5	2	16	2	16	460.0	50.6	2601	.237	1.00	1.27	1.00	.166									
66		D3/41/24-	14	14	11.0	15.48	-110.0	27.7	2	16	2	16	460.0	45.0	2401	.267	1.00	1.27	1.00	.203									
67		D3/41/13-	14	14	11.0	11.24	-98.2	20.1	2	16	2	16	460.0	47.2	2401	.254	1.00	1.27	1.00	.141									
68		D3/41/09-	14	14	11.0	11.70	-89.6	20.9	2	16	2	16	460.0	36.1	2401	.333	1.00	1.27	1.00	.191									
69		D3/41/06-	14	14	11.0	6.05	-78.9	10.8	2	16	2	16	460.0	17.9	2401	.671	1.00	1.27	1.00	.200									
70		E3/41/24A	14	14	11.0	7.62	-266.6	13.6	2	16	2	16	460.0	36.4	2401	.330	1.00	1.27	1.00	.124									
71		E3/41/24B	14	14	11.0	7.70	-270.4	13.7	2	16	2	16	460.0	37.8	2401	.318	1.00	1.27	1.00	.120									
72		E3/41/24C	14	14	11.0	13.77	-280.2	24.6	2	16	2	16	460.0	35.4	2401	.339	1.00	1.27	1.00	.230									
73		F3/41/24A	14	14	11.0	5.72	-259.2	9.7	2	16	2	16	460.0	31.6	2401	.380	1.00	1.27	1.00	.107									
74		F3/41/16A	14	14	11.0	5.09	-255.3	8.6	2	16	2	16	460.0	17.9	2401	.671	1.00	1.27	1.00	.168									
75		F3/41/24B	14	14	11.0	5.53	-258.1	9.4	2	16	2	16	460.0	29.1	2401	.413	1.00	1.27	1.00	.112									
76		F3/41/16B	14	14	11.0	4.28	-254.5	7.3	2	16	2	16	460.0	20.3	2401	.592	1.00	1.27	1.00	.124									
77		F3/41/24C	14	14	11.0	5.43	-78.7	9.2	2	16	2	16	460.0	29.2	2401	.411	1.00	1.27	1.00	.110									
78		F3/41/16C	14	14	11.0	5.05	-74.7	8.6	2	16	2	16	460.0	32.0	2401	.375	1.00	1.27	1.00	.093									
79	GEORGOUSIS/	GB1-U	15	15	12.5	9.17	-710.5	17.2	2	16	2	16	316.0	32.6	2404	.208	1.00	1.20	1.00	.120									
80	PHIPPS	GB2-U	15	15	12.5	7.83	-503.6	14.1	2	16	2	16	316.0	33.5	2404	.202	1.00	1.20	1.00	.100									
81	/34/	GB3-U	15	15	12.5	7.31	-462.8	13.1	2	16	2	16	316.0	35.4	2404	.191	1.00	1.20	1.00	.088									

Räumlicher Rahmenendknoten /Riegel, rechts/																			
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D [cm]	B [cm]	H [cm]	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{\sigma}^i$ $n_{\sigma}$ [mm]	$\lambda_{\sigma}$ $n_{\sigma}$ [mm]	$\beta_{\sigma}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_P$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	$\mu$ [-]	$\gamma$ [-]	D/H [-]	D/B [-]	$m_y$ [-]	$\eta$ [-]
1	GEORGOUSSIS/	YG1-R	15	15	11.9	1.77	.0	1.2	2 6	2 12	230.0	36.4	2100	.080	.25	1.26	1.00	.023	- -
2	PHIPPS	YG2-R	23	15	19.9	3.20	.0	2.2	2 6	2 12	230.0	23.9	2100	.073	.25	1.16	1.53	.023	- -
3	/34/	YG3-R	30	15	27.4	4.54	.0	3.2	2 6	2 12	230.0	22.5	2100	.056	.25	1.11	2.03	.018	- -

Räumlicher Rahmenendknoten /Riegel, links/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D [cm]	B [cm]	H [cm]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	$\lambda_{\sigma}^i$ [mm]	$\lambda_{\sigma}$ [mm]	$\beta_{\sigma}$ [N/mm2]	$\beta_P$ [N/mm2]	BEW.F	$\mu$ [-]	$\gamma$ [-]	D/H [-]	D/B [-]	$m_y$ [-]	$\eta$ [-]		
1	GEORGOUSSIS/	YG1-T	15	15	10.7	1.54	.0	1.1	2	6	2	12	230.0	36.4	2100	.089	.25	1.40	1.00	.025	-
2	PHIPPS	YG2-T	29	15	18.7	2.97	.0	2.1	2	6	2	12	230.0	23.9	2100	.078	.25	1.55	1.93	.024	-
3	/34/	YG3-T	30	15	26.2	4.32	.0	3.0	2	6	2	12	230.0	22.5	2100	.059	.25	1.16	2.03	.019	-

Räumlicher Rahmenendknoten /Stütze, oben/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{\sigma}^i$	$\lambda_{\sigma}$	$\beta_{\sigma}$	$\beta_P$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_y$	$\eta$		
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[N/mm2]	[N/mm2]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		
1	GEORGOUSSIS/	YG1-O	15	15	10.5	.83	-980.0	1.4	2	16	2	16	323.0	58.4	2100	.141	1.00	1.43	1.00	.009	-.006
2	PHIPPS	YG2-O	15	15	10.5	1.40	-725.0	2.5	2	16	2	16	323.0	56.0	2100	.147	1.00	1.43	1.00	.015	-.013
3	/34/	YG3-O	15	15	10.5	1.86	-634.0	3.5	2	16	2	16	323.0	49.6	2100	.166	1.00	1.43	1.00	.023	-.020

Räumlicher Rahmenendknoten /Stütze, unten/										$\lambda_{\sigma}^i$		$\lambda_{\sigma}$		$\beta_{\sigma}$		$\beta_P$		BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_y$	$\eta$
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$n$	$s$	$n$	$s$	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )										
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]												
1	GEORGOUSSIS/	YG1-U	15	15	10.5	.83	-982.3	1.4	2	16	2	16	323.0	58.4	2100	.141	1.00	1.43	1.00	.009	-.006			
2	PHIPPS	YG2-U	15	15	10.5	1.40	-731.2	2.5	2	16	2	16	323.0	56.0	2100	.147	1.00	1.43	1.00	.015	-.013			
3	/34/	YG3-U	15	15	10.5	1.86	-642.9	3.5	2	16	2	16	323.0	49.6	2100	.166	1.00	1.43	1.00	.023	-.019			



Ebene	Rahmehinnenknoten / Riegel, links?																			
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{ss}$	$\lambda_{ss}$	$\beta_{ss}$	$\beta_{ss}$	BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_u$	$\eta$	
			[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[N/mm2]	[N/mm2]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
1	STROBAND /	C01-T	30	15	27.1	21.00	.0	42.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.068	- -	
2	LEGUIJT	C02-T	30	15	27.0	47.30	.0	105.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.163	1.00	1.11	2.00	.154	- -	
3	/36/	C03-T	30	15	28.0	26.50	.0	53.0	3 10	3 10	400.0	28.0	2100	.080	1.00	1.07	2.00	.080	- -	
4		C04-T	30	15	27.0	51.30	.0	114.0	3 16	3 16	400.0	28.0	2100	.213	1.00	1.11	2.00	.168	- -	
5		C05-T	30	15	27.1	46.60	.0	98.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2106	.162	1.00	1.11	2.00	.151	- -	
6		C06-T	30	15	27.1	40.40	.0	85.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.131	- -	
7		C07-T	30	15	28.0	39.00	.0	78.0	3 10	3 10	400.0	28.0	2106	.080	1.00	1.07	2.00	.118	- -	
8		C08-T	30	15	28.0	30.40	.0	64.0	3 10	3 10	400.0	28.0	2100	.080	1.00	1.07	2.00	.092	- -	
9		C09-T	30	15	27.1	35.50	.0	71.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.115	- -	
10		C10-T	30	15	27.1	25.00	.0	52.5	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.081	- -	
11		C11-T	30	15	27.0	41.30	.0	87.0	3 16	3 16	400.0	28.0	2100	.213	1.00	1.11	2.00	.135	- -	
12		C12-T	30	15	27.0	42.70	.0	90.0	3 16	3 16	400.0	28.0	2100	.213	1.00	1.11	2.00	.139	- -	
13		C13-T	30	15	27.1	26.00	.0	52.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2100	.297	1.00	1.11	2.00	.154	- -	
14		C14-T	30	15	27.1	26.60	.0	56.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2100	.297	1.00	1.11	2.00	.158	- -	
15		C15-T	30	15	27.1	24.50	.0	49.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2106	.297	1.00	1.11	2.00	.145	- -	
16		C16-T	30	15	27.1	28.50	.0	60.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2106	.297	1.00	1.11	2.00	.169	- -	
17	GEORGOUSSIS/	AB1-T	25	15	21.7	9.64	.0	8.2	2 12	2 16	322.0	18.9	2100	.210	.56	1.15	1.67	.072	- -	
18	PHIPPS	AB2-T	25	15	20.1	15.63	.0	13.3	2 12	4 16	249.0	15.9	2100	.418	.28	1.24	1.67	.162	- -	
19	/34/	AB3-T	25	15	20.1	18.10	.0	15.4	2 12	6 16	249.0	19.5	2100	.511	.19	1.24	1.67	.153	- -	
20	SARSAM	IN1-T	30	15	27.3	56.52	.0	39.8	2 16	2 16	504.0	53.6	2104	.091	1.00	1.12	2.01	.094	- -	
21	/28/	IN2-T	30	15	27.3	56.42	.0	39.7	2 16	2 16	504.0	45.7	2100	.107	1.00	1.12	2.01	.109	- -	
22		IN3-T	30	15	27.9	59.32	.0	41.7	2 16	2 16	504.0	49.7	2100	.096	1.00	1.10	2.01	.101	- -	
23		IN4-T	30	15	27.6	57.13	.0	40.2	2 16	2 16	504.0	38.4	2104	.126	1.00	1.11	2.02	.128	- -	

Ebene Rahmeninnenknoten / Riegel, rechts?/ NR AUTOR BEZEICHNUNG			D	B	H	M	N	Q	$\lambda_{\text{e}}'$ $n_{\text{e}}'$	$\lambda_{\text{e}}$ $n_{\text{e}}$	$\beta_{\text{e}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_{\text{p}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	u	T	D/H	D/B	$\mu_{\text{y}}$	$\eta$
			(cm)	(cm)	(cm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(mm)	(mm)				(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1	STROBAND /	C01-R	30	15	27.1	42.00	.0	84.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.136	- -
2	LEGUIJT	C02-R	30	15	27.0	47.30	.0	105.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.163	1.00	1.11	2.00	.154	- -
3	/36/	C03-R	30	15	28.0	26.50	.0	53.0	3 10	3 10	400.0	28.0	2100	.080	1.00	1.07	2.00	.080	- -
4		C04-R	30	15	27.0	51.30	.0	114.0	3 16	3 16	400.0	28.0	2100	.213	1.00	1.11	2.00	.168	- -
5		C05-R	30	15	27.1	46.60	.0	98.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2106	.162	1.00	1.11	2.00	.151	- -
6		C06-R	30	15	27.1	40.40	.0	85.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.131	- -
7		C07-R	30	15	28.0	39.00	.0	78.0	3 10	3 10	400.0	28.0	2106	.080	1.00	1.07	2.00	.118	- -
8		C08-R	30	15	28.0	30.40	.0	64.0	3 10	3 10	400.0	28.0	2100	.080	1.00	1.07	2.00	.092	- -
9		C09-R	30	15	27.1	35.50	.0	71.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.115	- -
10		C10-R	30	15	27.1	49.90	.0	105.0	3 14	3 14	400.0	28.0	2100	.162	1.00	1.11	2.00	.162	- -
11		C11-R	30	15	27.0	41.30	.0	87.0	3 16	3 16	400.0	28.0	2100	.213	1.00	1.11	2.00	.135	- -
12		C12-R	30	15	27.0	42.70	.0	90.0	3 16	3 16	400.0	28.0	2100	.213	1.00	1.11	2.00	.139	- -
13		C13-R	30	15	27.1	26.00	.0	52.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2100	.297	1.00	1.11	2.00	.154	- -
14		C14-R	30	15	27.1	26.60	.0	56.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2100	.297	1.00	1.11	2.00	.158	- -
15		C15-R	30	15	27.1	24.50	.0	49.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2106	.297	1.00	1.11	2.00	.145	- -
16		C16-R	30	15	27.1	28.50	.0	60.0	3 14	3 14	400.0	15.3	2106	.297	1.00	1.11	2.00	.169	- -
17	GEORGOUSSIS/	AB1-R	25	15	21.7	9.64	.0	8.2	2 12	2 16	322.0	18.9	2100	.210	.56	1.15	1.67	.072	- -
18	PHIPPS	AB2-R	25	15	20.1	15.63	.0	13.3	2 12	4 16	249.0	15.9	2100	.418	.28	1.24	1.67	.162	- -
19	/34/	AB3-R	25	15	20.1	18.10	.0	15.4	2 12	6 16	249.0	19.5	2100	.511	.19	1.24	1.67	.153	- -
20	SARSAH	IN1-R	30	15	27.2	56.80	.0	39.9	2 16	2 16	504.0	53.6	2104	.091	1.00	1.12	2.01	.094	- -
21	/28/	IN2-R	30	15	27.3	58.60	.0	41.3	2 16	2 16	504.0	45.7	2100	.107	1.00	1.12	2.01	.113	- -
22		IN3-R	30	15	27.9	55.11	.0	38.9	2 16	2 16	504.0	49.7	2100	.096	1.00	1.10	2.01	.094	- -
23		IN4-R	30	15	27.6	55.88	.0	39.4	2 16	2 16	504.0	38.4	2104	.126	1.00	1.11	2.02	.126	- -



Ebene Rahmeninnenknoten / Stütze, unten/			D B H			M N		Q	$\lambda_{s, \sigma}$		$\lambda_{s, \sigma}$		$\beta_{s, \sigma}$		BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_y$	$\eta$
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kN]	n	$\sigma$	n	$\sigma$	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	STROBAND /	C01-U	20	15	17.0	31.50	-311.0	42.0	2	18	2	18	400.0	28.0	2100	.285	1.00	1.18	1.33	.260	-.506
2	LEGUIJT	C02-U	30	15	27.0	52.50	-326.0	70.0	2	12	2	12	400.0	28.0	2100	.080	1.00	1.11	2.00	.171	-.537
3	/36/	C03-U	20	15	17.0	26.50	-321.0	35.3	2	12	2	12	400.0	28.0	2100	.127	1.00	1.18	1.33	.218	-.413
4		C04-U	30	15	27.0	57.00	-313.0	76.0	2	14	2	14	400.0	28.0	2100	.109	1.00	1.11	2.00	.186	-.607
5		C05-U	25	15	22.0	49.00	-326.0	65.3	2	14	2	14	400.0	28.0	2106	.133	1.00	1.14	1.67	.241	-.601
6		C06-U	25	15	22.0	42.50	-332.0	56.7	2	14	2	14	400.0	28.0	2100	.133	1.00	1.14	1.67	.209	-.512
7		C07-U	25	15	22.0	39.00	-328.0	52.0	2	8	2	8	400.0	28.0	2106	.044	1.00	1.14	1.67	.192	-.476
8		C08-U	25	15	22.0	32.00	-322.0	42.7	2	8	2	8	400.0	28.0	2100	.044	1.00	1.14	1.67	.157	-.398
9		C09-U	20	15	17.0	35.50	-317.0	47.3	2	18	2	18	400.0	28.0	2100	.285	1.00	1.18	1.33	.292	-.560
10		C10-U	25	15	22.0	39.00	-416.5	52.5	2	14	2	14	400.0	28.0	2100	.133	1.00	1.14	1.67	.192	-.375
11		C11-U	25	15	22.0	43.50	-317.0	58.0	2	18	2	18	400.0	28.0	2100	.220	1.00	1.14	1.67	.214	-.549
12		C12-U	25	15	22.0	45.00	-316.0	60.0	2	18	2	18	400.0	28.0	2100	.220	1.00	1.14	1.67	.221	-.570
13		C13-U	20	15	17.0	26.00	-304.0	34.7	2	18	2	18	400.0	15.3	2100	.522	1.00	1.18	1.33	.392	-.428
14		C14-U	25	15	22.0	28.00	-308.0	37.3	2	14	2	14	400.0	15.3	2100	.244	1.00	1.14	1.67	.252	-.364
15		C15-U	20	15	17.0	24.50	-300.0	32.7	2	18	2	18	400.0	15.3	2106	.522	1.00	1.18	1.33	.369	-.408
16		C16-U	25	15	22.0	30.00	-303.0	40.0	2	14	2	14	400.0	15.3	2106	.244	1.00	1.14	1.67	.270	-.396
17	GEORGOUSSIS/	AB1-U	15	15	12.1	.01	-866.4	.0	2	16	2	16	322.0	46.2	2100	.154	1.00	1.24	1.00	.000	.000
18	PHIPPS	AB2-U	15	15	12.1	.01	-776.6	.0	2	16	2	16	249.0	51.6	2100	.107	1.00	1.24	1.00	.000	.000
19	/34/	AB3-U	15	15	12.1	.01	-930.8	.0	2	16	2	16	249.0	50.7	2100	.109	1.00	1.24	1.00	.000	.000
20		IN1-U	20	15	17.2	.10	-381.0	.2	2	16	2	16	504.0	53.6	2104	.141	1.00	1.19	1.31	.000	-.001
21	SARSAM	IN2-U	20	15	17.4	.99	-380.0	1.6	2	16	2	16	504.0	45.7	2100	.166	1.00	1.20	1.35	.005	-.013
22	/28/	IN3-U	20	15	17.1	1.86	-389.0	3.0	2	16	2	16	504.0	49.7	2100	.154	1.00	1.20	1.33	.008	-.023
23		IN4-U	20	15	17.3	.55	-370.0	.9	2	16	2	16	504.0	38.4	2104	.197	1.00	1.19	1.33	.003	-.007

Räumliche RahmenInnenknoten /Stütze, unten/										$\lambda_{s,0}$		$\lambda_{s,0}$		$\beta_{s,0}$		$\beta_{p,0}$		BEW.F		$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_1$	$\eta$
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D {cm}	B {cm}	H {cm}	M {kNm}	N {kN}	Q {kN}	$n$ {mm}	$n$ {mm}	$N/n^2$	$N/n^2$	$N/n^2$	$N/n^2$		{-}	{-}	{-}	{-}		{-}				
1	GEORGOUSSIS/	BL1-U	15	15	10.5	.01	1156.0	.0	2	16	2	16	250.0	53.4	2100	.120	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
2	PHIPPS	BL2-U	15	15	10.5	.01	907.0	.0	2	16	2	16	250.0	45.6	2100	.140	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
3	/34/	BL3-U	15	15	10.5	.01	837.0	.0	2	16	2	16	250.0	43.2	2100	.148	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
4		BL4-U	15	15	10.5	.01	786.0	.0	2	16	2	16	250.0	47.9	2100	.133	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
5		GC1-U	15	15	10.5	.01	1110.0	.0	2	16	2	16	316.0	53.9	2100	.150	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
6		GA1-U	15	15	10.5	.01	1226.0	.0	2	16	2	16	316.0	47.2	2100	.171	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
7		GA2-U	15	15	10.5	.01	1483.0	.0	2	16	2	16	316.0	53.5	2100	.151	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
8		GA3-U	15	15	10.5	.01	1280.0	.0	2	16	2	16	316.0	58.7	2100	.137	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
9		GD1-U	15	15	10.5	.01	1153.0	.0	4	16	4	16	316.0	50.7	2100	.318	1.00	1.43	1.00	.000	.000				
10		GD2-U	15	15	10.5	.01	965.0	.0	4	16	4	16	316.0	48.0	2100	.336	1.00	1.43	1.00	.000	.000				

Räumliche RahmenInnenknoten /Stütze, oben/										$\lambda_{s,0}$		$\lambda_{p,0}$		BEW.F	$\mu$	$\gamma$	D/H	D/B	$m_1$	$\eta$	
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$n_{s,0}$ (mm)	$n_{p,0}$ (mm)	$\beta_{s,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_{p,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )									
1	GEORGOUSSIS/	BL1-O	15	15	10.5	.01	1150.0	.0	2	16	2	16	250.0	53.4	2100	.120	1.00	1.43	1.00	.000	.000
2	PHIPPS	BL2-O	15	15	10.5	.01	900.0	.0	2	16	2	16	250.0	45.6	2100	.140	1.00	1.43	1.00	.000	.000
3	/34/	BL3-O	15	15	10.5	.01	820.0	.0	2	16	2	16	250.0	43.2	2100	.148	1.00	1.43	1.00	.000	.000
4		BL4-O	15	15	10.5	.01	740.0	.0	2	16	2	16	250.0	47.9	2100	.133	1.00	1.43	1.00	.000	.000
5		GC1-O	15	15	10.5	.01	957.0	.0	2	16	2	16	316.0	53.9	2100	.150	1.00	1.43	1.00	.000	.000
6		GA1-O	15	15	10.5	.01	1038.0	.0	2	16	2	16	316.0	47.2	2100	.171	1.00	1.43	1.00	.000	.000
7		GA2-O	15	15	10.5	.01	1236.0	.0	2	16	2	16	316.0	53.5	2100	.151	1.00	1.43	1.00	.000	.000
8		GA3-O	15	15	10.5	.01	1047.0	.0	2	16	2	16	316.0	58.7	2100	.137	1.00	1.43	1.00	.000	.000
9		GD1-O	15	15	10.5	.01	960.0	.0	2	16	2	16	316.0	50.7	2100	.159	1.00	1.43	1.00	.000	.000
10		GD2-O	15	15	10.5	.01	804.0	.0	2	16	2	16	316.0	48.0	2100	.168	1.00	1.43	1.00	.000	.000

Räumliche RahmenInnenknoten /Riegel 1/																				
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{\sigma}^i$ $n_{\sigma}$ (mm)	$\lambda_{\sigma}$ $n_{\sigma}$ (mm)	$\beta_{\sigma}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	BEW.F	u (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$m_y$ (-)	$\eta$ (-)	
1	GEORGOUSSIS/	BL1-R	15	15	11.7	2.17	.0	1.5	2 6	2 16	250.0	30.9	2100	.185	.14	1.28	1.00	.034	- -	
2	PHIPPS	BL2-R	15	15	11.9	2.75	.0	1.9	2 6	2 12	350.0	25.9	2100	.171	.25	1.26	1.00	.050	- -	
3	/34/	BL3-R	23	15	11.9	6.59	.0	4.6	2 6	2 12	350.0	20.4	2100	.217	.25	1.93	1.53	.152	- -	
4		BL4-R	30	15	27.4	9.57	.0	6.6	2 6	2 12	350.0	22.4	2100	.086	.25	1.11	2.03	.038	- -	
5		GC1-R	30	15	27.4	55.20	.0	38.3	2 6	2 22	460.0	22.1	2100	.385	.07	1.11	2.03	.222	- -	
6		GA1-R	43	15	39.7	67.70	.0	47.0	2 10	2 20	490.0	16.5	2100	.313	.25	1.09	2.88	.174	- -	
7		GA2-R	55	15	52.4	88.90	.0	61.7	2 12	2 20	490.0	20.0	2100	.196	.36	1.07	3.73	.108	- -	
8		GA3-R	71	15	67.6	83.80	.0	58.2	2 12	2 20	490.0	21.7	2100	.140	.36	1.05	4.74	.056	- -	
9		GD1-R	43	15	39.7	48.20	.0	48.2	2 10	2 20	490.0	18.7	2100	.276	.25	1.09	2.88	.109	- -	
10		GD2-R	43	15	39.7	83.62	.0	40.2	2 10	2 20	490.0	18.6	2100	.278	.25	1.09	2.88	.190	- -	

Räumliche RahmenInnenknoten /Riegel 2/																					
NR	AUTOR	BEZEICHNUNG	D (cm)	B (cm)	H (cm)	M (kNm)	N (kN)	Q (kN)	$\lambda_{\sigma}^i$ $n_{\sigma}$ (mm)	$\lambda_{\sigma}$ $n_{\sigma}$ (mm)	$\beta_{\sigma}$ (N/mm2)	$\beta_D$ (N/mm2)	BEW.F	u (-)	$\gamma$ (-)	D/H (-)	D/B (-)	$m_y$ (-)	$\eta$ (-)		
1	GEORGOUSSIS/	BL1-S	15	15	10.1	1.88	.0	1.3	2	6	2	16	250.0	30.9	2100	.215	.14	1.49	1.00	.040	- -
2	PHIPPS	BL2-S	15	15	10.7	2.24	.0	1.6	2	6	2	12	350.0	25.9	2100	.190	.25	1.40	1.00	.050	- -
3	/34/	BL3-S	23	15	18.7	6.01	.0	4.2	2	6	2	12	350.0	20.4	2100	.138	.25	1.23	1.53	.056	- -
4		BL4-S	30	15	26.2	9.01	.0	6.3	2	6	2	12	350.0	22.4	2100	.090	.25	1.16	2.03	.039	- -
5		GC1-S	30	15	25.2	55.20	.0	38.3	2	6	2	22	460.0	22.1	2100	.419	.07	1.21	2.03	.262	- -
6		GA1-S	43	15	37.7	67.70	.0	47.0	2	10	2	20	490.0	16.5	2100	.330	.25	1.15	2.88	.192	- -
7		GA2-S	55	15	50.4	88.90	.0	61.7	2	12	2	20	490.0	20.0	2100	.204	.36	1.11	3.73	.117	- -
8		GA3-S	71	15	65.6	83.80	.0	58.2	2	12	2	20	490.0	21.7	2100	.144	.36	1.08	4.74	.060	- -
9		GD1-S	43	15	37.7	48.20	.0	48.2	2	10	2	20	490.0	18.7	2100	.291	.25	1.15	2.88	.121	- -
10		GD2-S	43	15	37.7	83.62	.0	40.2	2	10	2	20	490.0	18.6	2100	.293	.25	1.15	2.88	.211	- -